

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**EFFECTIVIDAD DEL MÉTODO MODEM PARA LA MEDICIÓN DE EMISIONES
CONTAMINANTES GENERADOS EN UN AMBIENTE DE TRÁFICO
VEHICULAR – PUNO**

PRESENTADO POR:

JOAN GUILLER VÉLEZ MARCAVILLACA.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL.

PUNO – PERÚ

2021

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS**EFFECTIVIDAD DEL MÉTODO MODEM PARA LA MEDICIÓN DE EMISIONES
CONTAMINANTES GENERADOS EN UN AMBIENTE DE TRÁFICO
VEHICULAR – PUNO.**

PRESENTADO POR:

JOAN GUILLER VÉLEZ MARCAVILLACA.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL.

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE



Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO



Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOZQUETA

SEGUNDO MIEMBRO



Ing. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

ASESOR DE TESIS



Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ciencias Naturales

Disciplina: Meteorología y Ciencias Atmosféricas

Especialidad: Contaminación del Aire

Puno, 11 de mayo de 2021

DEDICATORIA

A Dios porque es él, quien ha permitido y permite que existan personas tan maravillosas en mi vida y me regala fortaleza para crecer todos los días más.

A mis padres: José Antonio Vélez Cáceres, Martha Mirta Marcavillaca Chura quienes siempre han sido un apoyo fundamental en mi crecimiento profesional y el más importante, espiritual.

A los docentes de la Universidad Privada San Carlos que nos inculcan los valores, nuestra formación profesional.

Joan Guiller

AGRADECIMIENTOS

A Dios. Por habernos permitido llegar hasta este punto y haberme dado la vida para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres, Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos y valores, por su constante motivación.

Un agradecimiento especial a todos los docentes de la Universidad Privada “San Carlos” por el esfuerzo que hacen para el aprendizaje de los futuros Ingenieros Ambientales.

De igual manera agradecer a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental cuyos docentes comparten conocimientos y prácticas necesarias para consolidarme como profesional.

A todas aquellas personas que de forma directa e indirecta, colaboraron con la realización de estudios y culminación del presente informe.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1.1	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1.1.1	PROBLEMA GENERAL	3
1.1.1.2	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	3
1.2	ANTECEDENTES	3
1.2.1	A nivel internacional	3
1.2.2	A nivel nacional	6
1.2.3	A nivel Local	8
1.3	OBJETIVOS	9
1.3.1	OBJETIVOS GENERALES	9
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1	MARCO TEÓRICO	10
2.1.1	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	10
	2.1.1.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	11
2.1.2	PRINCIPALES CONTAMINANTES DE LA ATMÓSFERA	11
	2.1.2.1 Óxidos de Carbono	11
	2.1.2.2 Óxidos de azufre	12
	2.1.2.3 Óxidos de Nitrógeno	12
	2.1.2.4 Compuestos Orgánicos Volátiles	12
	2.1.2.5 Partículas y aerosoles	14
	2.1.2.6 Ozono	14
2.1.3	CONTAMINANTES DEBIDO A FUENTES MÓVILES	14
2.1.4	EFFECTOS SOBRE LA SALUD	15
2.1.5	EFFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE	17
2.2	MARCO CONCEPTUAL	19
2.2.1	PARQUE AUTOMOTOR COMO PRINCIPAL FUENTE DE CONTAMINACIÓN	19
2.2.2	CONGESTIÓN VEHICULAR	21
	2.2.2.1 CAUSAS DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR	21
	2.2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR	21
2.2.3	EMISIONES VEHICULARES	21
	2.2.3.1 EMISIONES EVAPORATIVAS	22
	2.2.3.2 EMISIONES POR EL TUBO DE ESCAPE	22
	2.2.3.3 EMISIONES DE FRENOS Y NEUMÁTICOS	23
2.2.4	MODELOS DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	23
2.2.5	APORTACIÓN Y OBJETIVOS DE LOS MODELOS	23
		iv

2.2.6	FACTORES DE EMISIÓN	24
2.2.7	CONTENIDO DE AZUFRE EN EL DIESEL	24
2.3	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	25
2.3.1	HIPÓTESIS GENERAL	25
2.3.2	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	25

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	ZONA DE ESTUDIO	26
3.2	TAMAÑO DE MUESTRA	27
3.2.1	POBLACIÓN	27
3.2.2	MUESTRA	28
3.2.3	CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN	28
3.3	MÉTODO Y TÉCNICAS	28
3.3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	28
3.3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	28
3.3.3	MATERIALES Y EQUIPOS	29
3.3.4	MÉTODO	30
3.3.4.1	DETERMINACION DE LA EFECTIVIDAD DE LA METODOLOGIA MODEM (2010) PARA LA EVALUACIONES DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	30
3.3.4.2	DETERMINACION DE LAS EMISIONES ATMOSFERICAS CON EL MÉTODO MÓDEM (2010)	30
3.3.4.2.1	ETAPA DE RECAUDACIÓN DE INFORMACIÓN OBTENCIÓN DE DATOS DEL TRÁFICO VEHICULAR	30
	ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE LA VELOCIDAD VEHICULAR PROMEDIA	34
	ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE EMISIONES CONTAMINANTES	35

3.3.4.3 DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y LOS EFECTOS SIGNIFICATIVOS EN LAS PERSONAS CON CONTACTO DIRECTO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	39
3.4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	39
3.5 DISEÑO ESTADÍSTICO	40

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 EFECTIVIDAD DE LA METODOLOGÍA MÓDEM (2010) EN LAS ÁREAS DE ESTUDIOS TRAMOS 1 Y 2	41
4.2 DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS VEHICULARES CON EL MÉTODO MÓDEM (2010) EN LOS TRAMOS 1 Y 2	42
4.3 EFECTOS SIGNIFICATIVOS EN LAS PERSONAS CON CONTACTO DIRECTO EN EL ÁREA DE CONGESTIÓN VEHICULAR	61
4.4 PRUEBA DE HIPÓTESIS	61
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01 Tipos de contaminantes, clasificación y fuente del medio ambiente	10
Tabla 02 Parque Automotor Nacional estimado por clase de vehículo según departamento :2016	20
Tabla 03 Categoría Vehicular	31
Tabla 04 Horario para el área de estudio	31
Tabla 05 Cuadro de emisiones evaporativas en circulación	35
Tabla 06 Factor de emisión neumáticos y frenos	36
Tabla 07 Fracción de masa de material particulado para el desgaste de neumáticos y frenos	38
Tabla 08 Factores de corrección para el desgaste de neumáticos y frenos	38
Tabla 09 Cuadro operalización de variables	40
Tabla 10 Tránsito vehicular promedio	42
Tabla 11 Velocidad Vehicular Promedio	43
Tabla 12 Emisiones En Caliente (Tubo De Escape)	45
Tabla 13 Emisiones Evaporativas En Circulación	46
Tabla 14 Emisiones provenientes del desgaste de neumáticos	47
Tabla 15 Emisiones provenientes del desgaste de frenos	49
Tabla 16 Emisión total de contaminantes	51
Tabla 17 Tránsito vehicular promedio	52
Tabla 18 Velocidad vehicular promedio	53
Tabla 19 Emisiones En Caliente (Tubo De Escape)	54
Tabla 20 Emisiones Evaporativas en Circulación	55
Tabla 21 Emisiones provenientes del desgaste de neumáticos	57
Tabla 22 Emisiones provenientes del desgaste de frenos	58
Tabla 23 Emisión Total de Contaminantes	60
Tabla 24 Cantidad de contaminantes atmosféricos emitidos por mototaxis.	84
Tabla 25 Emisiones anuales Azogues	85
Tabla 26 Emisiones por estrato y por tipo de vehículo - muestra (g/semana)	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Área de estudio Tramo 1	27
Figura 2 Área de estudio Tramo 2	27
Figura 3 Tránsito Vehicular Promedio	42
Figura 4 Valor Porcentual de Tránsito	43
Figura 5 Velocidad Vehicular Promedio	44
Figura 6 Emisiones Evaporativas en Circulación	46
Figura 7 Emisiones por desgaste de neumáticos	48
Figura 8 Emisiones PTS y partículas suspendidas	48
Figura 9 Emisiones por desgaste de Frenos	49
Figura 10 Emisiones por desgaste de Frenos "partículas Suspendidas"	50
Figura 11 Emisiones Totales	51
Figura 12 Tránsito vehicular promedio	52
Figura 13 Valor porcentual de tránsito vehicular	53
Figura 14 Velocidad vehicular promedio	54
Figura 15 Emisiones Evaporativas en Circulación	56
Figura 16 Emisiones provenientes del desgaste de neumáticos	57
Figura 17 Emisiones PTS y partículas suspendidas	58
Figura 18 Emisiones por desgaste de frenos	59
Figura 19 Emisiones por desgaste de frenos "Partículas Suspendidas"	59
Figura 20 Emisiones Totales	61
Figura 21 Transito vehicular promedio Lima 2014	81
Figura 22 Velocidad promedio vehicular Lima 2014	81
Figura 23 Emisiones desgaste de neumáticos Lima 2014	82
Figura 24 Emisiones Totales por desgaste de neumáticos Lima 2014	82
Figura 25 Emisiones desgaste de frenos Lima 2014	83
Figura 26 Emisiones Totales por desgaste de frenos Lima 2014	83
Figura 27 Emisiones Totales Lima 2014	84
Figura 28 Cantidad de contaminantes atmosféricos emitidos por mototaxis	84

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Hoja de campo Información del Parque Automotor	73
Anexo 2 Factores de Emisión para Vehículos Livianos de pasajeros y Taxis	74
Anexo 3 Factores de Emisión para Vehículos Livianos Comerciales	75
Anexo 4 Factores de Emisión para Camiones Livianos	76
Anexo 5 Factores de Emisión para Camiones Medianos	77
Anexo 6 Factores de Emisión para Camiones Pesados	78
Anexo 7 Factores de Emisión para Motocicletas	79
Anexo 8 Especificaciones Técnicas PETROPERÚ (Presión de vapor)	80
Anexo 9 Información del parque automotor Lima 2014	81
Anexo 10 Emisiones generadas por desgaste de neumáticos Lima 2014	82
Anexo 11 Emisiones generadas por desgaste de frenos Lima 2014	83
Anexo 12 Emisiones Totales en un ambiente de tráfico vehicular Lima 2014	84
Anexo 13 Cantidad de contaminantes atmosféricos emitidos en la ciudad de Cedillin 2019.	84
Anexo 14 Inventarios de emisiones anuales en la ciudad de Azogues, Cuenca 2019	85
Anexo 15 Modelo para estimación de emisiones vehiculares como herramienta para la gestión Institucional.	85
Anexo 16 Matriz de Consistencia	86

RESUMEN

Las emisiones vehiculares son un problema de gran importancia que ocasionan problemas en la salud y en el medio ambiente, por lo que el estudio de investigación tuvo como objetivo calcular las emisiones atmosféricas generadas por los vehículos en la Ciudad de Puno, en una sección de 2 kilómetros dividido en dos tramos:

Tramo 1: Jirón Lampa/Av. la Torre – Mercado Central, con una distancia de 0.4 km.

Tramo 2: Ovalo Ramón Castilla – Av. El Ejército – Av. El Sol, con una distancia de 1.5 km.

La Metodología utilizada fue MÓDEM (2010) que es un modelo de estimación de emisiones contaminantes, que ya tiene pasos definidos para su aplicación. Para la realización del trabajo de investigación se realizó en 3 etapas. La población estuvo constituida por todos los vehículos que se encuentran en circulación en la ciudad de Puno, entre ellos tenemos: motocarros, motocicletas, vehículos particulares, combis, etc. La muestra fueron todas las unidades encuestadas al momento de realizar las mediciones en las calles: Jirón Lampa/Av. la Torre – Mercado Central y Ovalo Ramón Castilla – Av. El Ejército – Av. El Sol. Los resultados obtenidos indican un valor en Emisiones Totales de 3524,46 kg/año con respecto al Tramo 1 y un valor de Emisiones Totales de 10889,14 kg/año en el Tramo 2. Otros contaminantes atmosféricos estimados fueron el CO con 95%, NO_x con 4% y HC con 0,3% de emisiones provenientes de los taxis, combis y buses generados de forma anual.

Palabras clave: Emisiones vehiculares, congestión vehicular, metodología Modem.

ABSTRACT

Vehicle emissions are a problem of great importance that cause health and environmental problems, so the objective of the research study was to calculate the atmospheric emissions generated by vehicles in the City of Puno, in a section of 2 kilometers divided into two sections:

Section 1: Lampa street / La Torre Avenue - Mercado Central, with a distance of 0.4 km,

Section 2: Oval Ramón Castilla - Ejército Avenue - El Sol Avenue, with a distance of 1.5 km.

The methodology used was MÓDEM (2010), which is a model for estimating pollutant emissions, which already has defined steps for its application. To carry out the research work, it was carried out in 3 stages. The population was made up of all the vehicles that are in circulation in the city of Puno, among them we have: motorcycles, motorcycles, private vehicles, combis, etc.

The sample will be all the units surveyed at the time of measurements on the streets: Lampa street / La Torre Avenue - Central Market and Oval Ramón Castilla - El Ejército Avenue - El Sol Avenue. The results obtained indicate a value in Total emissions of 3524.46 kg / year with respect to Section 1 and a value of Total Emissions of 10889.14 kg / year in Section 2. Other estimated atmospheric pollutants were CO with 95%, NO_x with 4% and HC with 0.3% of emissions from taxis, combis and buses generated annually.

Keywords: Vehicular emissions, traffic congestion, modem methodology.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es uno de los problemas ambientales más peligrosos que enfrenta la civilización actual debido a las actividades mineras o construcción siendo las causas más comunes. En los últimos años en todo el mundo las fuentes móviles han aparecido de forma masiva en las ciudades, incrementando los problemas de contaminación atmosférica, provocando emisión de contaminantes hacia la atmósfera.

Debido a esta situación el estudio de emisiones contaminantes a la atmósfera es de total importancia para el control de estos contaminantes. El estudio utilizó la metodología MODEM para analizar las emisiones atmosféricas, generados por el tráfico vehicular en la ciudad de Puno definiendo así su nivel de efectividad. Cuyo objetivo central es determinar la efectividad de la Metodología MÓDEM (2010) dando valores estimados a las emisiones atmosféricas más relevantes provenientes de los vehículos en un área de estudio de 2 km dividido en dos tramos en las principales calles de la ciudad de Puno.

Para llevar a cabo el estudio, se aplicó la Metodología MÓDEM (2010), en un ambiente de congestión vehicular donde las variables están definidas por el parque automotor, congestión vehicular, velocidad vehicular y efecto que causan a las personas que tienen contacto con el parque automotor así definiendo la eficacia del método MODEM. Que consta de 4 capítulos. En el capítulo I “Planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación” donde se formula el problema y los objetivos. En el capítulo II “Marco teórico e hipótesis de la investigación” se efectúan precisión de conceptos teóricos que ayuden a formular y comprender el tema. En el Capítulo III “Metodología de la Investigación” donde se desarrolla 3 etapas: etapa de información del parque automotor, estimación de velocidad promedio, estimación de emisiones contaminantes. En el capítulo IV “Análisis de los resultados” donde se desarrolla discusión y análisis de resultados obtenidos durante la investigación. Cabe recalcar que los resultados obtenidos deben ser usados como referencias de estudio debido a las aproximaciones al resultado final.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación atmosférica por emisiones vehiculares es un problema de gran importancia en las grandes ciudades de todo el mundo, no solo por lo que puede ocasionar sino también, por los efectos que provoca en la salud y al medio ambiente. La situación empeora más cuando la congestión vehicular es constante lo que implica el tiempo de funcionamiento y reducción de velocidad.(Vargas, 2014)

Las fuentes contaminantes más usuales producidas por el flujo vehicular se han incrementado de manera alarmante en estas últimas décadas no solo en el Perú, sino, también en el mundo entero. Provocando emisiones contaminantes hacia nuestra atmósfera.(Guia de calidad del Aire y Educación Ambiental 003.pdf, s. f.-a)

En el trabajo de investigación se evaluaron las emisiones provenientes del flujo vehicular en un recorrido promedio de 2 km eligiendo las calles y/o avenidas de mayor concurrencia vehicular en la ciudad de Puno y la hora de mayor congestión utilizando la metodología Modem.

1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el nivel de efectividad del método, MÓDEM (2010) para la determinación de emisiones contaminantes atmosféricas, generados en un ambiente de tráfico vehicular en la ciudad de Puno capital 2020?

1.1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuáles serán los resultados del método MÓDEM (2010), en la evaluación de emisiones atmosféricas provocadas por el flujo vehicular en las zonas con mayor presencia vehicular de la ciudad de Puno?

¿Cómo influye la contaminación atmosférica en la salud de las personas en el área de influencia directa o zona de estudio?

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 A nivel internacional

Muñoz & Vásquez (2020) la capacidad de captura de dióxido de carbono de 28 parques automotores urbanos, fueron 10.709,8 Ton. Por otra parte, las emisiones del parque automotor generadas por el consumo de combustible fueron de 828,81 gr de CO₂.

Molina & Salcedo (2017) en el estudio de estimación de emisiones contaminantes (CO, VOC, NO_x, SO_x, PM, NH₃, CO₂) generado por los vehículos que transitan en el cantón Sevilla de Oro. Las emisiones fueron estimadas mediante el uso del software I'VE, acomodando las variables de ingreso con los datos levantados de la localidad. Se realizó la obtención de información en dos horarios; mañana (11:00 am a 12:00 pm) y en la tarde (12:30 pm a 13:30 pm). Como resultado final se demostró que las mayores emisiones son generadas en la tarde, con mayor aporte de contaminantes tóxicos y de calentamiento global.

Tobar & Marcelo (2017) en la ciudad de Cuenca (Ecuador) se inició la investigación mediante un modelo matemático y una herramienta informática de microsimulación de tránsito para la calcular valores aproximado de emisiones de dióxido de carbono y óxidos nitrosos en las principales avenidas de la ciudad de Cuenca. Donde se ordenó una secuencia de actividades que ayudarán de guía para el desarrollo de estudios en un mediano plazo facilitando la toma de decisiones de gestión de tránsito poniendo en marcha la disminución de emisiones de contaminantes del aire

Valencia, Arroyave et al., (2015) En este artículo se presentó un modelo para la estimación de las emisiones vehiculares, con el objetivo desarrollar un modelo para la estimación de emisiones. Esta metodología se basa en el modelo simplificado usado para la evaluación de emisiones, que usa los factores de emisiones atmosféricos desarrollados para la capital de Colombia. La información deseada fue recolectada con la ayuda de encuestas; en ellas se indaga por características de los vehículos. Dando como resultado que la institución no aporta más del 0,025 % a las emisiones totales del Valle de Aburrá. Deduciendo que esta metodología es de muy fácil aplicación y de transferencia a otras instituciones y/o empresas con dimensiones variables poblacionales y de flujos vehiculares.

Polette & Jacques (2017) en el estudio se busca generar un modelo para estimar las emisiones de contaminantes provenientes del parque vehicular urbano a lo largo del tiempo. Cuyo objetivo secundario es que el modelo sea realista, flexible y requiera la menor cantidad de información posible. El modelo desarrollado consta de cuatro etapas. En la primera, se hacen proyecciones del parque vehicular para el período de evaluación y, utilizando su distribución, se simula el proceso de envejecimiento del parque mediante una distribución de supervivencia bajo un modelo de flujo. Posteriormente, se determinan los

patrones de uso vehicular y de ahí las emisiones del parque. Respecto a las emisiones, el modelo estima que la generación de CO, NO_x y PM_{2.5} presentarán una tendencia a la baja, principalmente debido a las mejoras tecnológicas de buses y camiones. Respecto a las emisiones de CO₂, el modelo estima un alza de las mismas dentro de los próximos 20 años. Se evalúan diversos escenarios, destacando que el más atractivo para disminuir las emisiones es incentivar la participación de vehículos eléctricos.

Serna & Jessenia (2011) en el proyecto estima y caracteriza emisiones atmosféricas provenientes de vehículos que transitan por las vías aledañas a la universidad autónoma de occidente de Cali. Se estimaron las emisiones de óxido de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV) y material particulado (PM₁₀) Se realizó una caracterización de los vehículos que transitan por esta vía, a través de 551 encuestas aplicadas a conductores que se mueven por esta ruta de análisis, para identificar el tipo de vehículo, el modelo, posteriormente se estimaron los flujos y velocidades de la flota vehicular que transita por la vía, usando cámaras ubicadas en un lugares estratégicos que logra captar los vehículos que se mueven de sur a norte, de norte a sur. Con esta información se aplican las fórmulas respectivas según la velocidad y modelo, obteniendo las emisiones horarias en caliente de NO_x, CO, COV y PM₁₀. Dando resultado en un día típico 139543.74 g NO_x/d, 577230.67 g CO/d, 136655.23 g COV/d y 8510.15 g PM₁₀/d

Picalua & Linda (2018) en este estudio se presentan los resultados de la estimación de contaminantes atmosféricos: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), material particulado menor a 10 µm (MP₁₀) y compuestos orgánicos volátiles (COV), emitidos por las fuentes móviles en cinco vías de alto tráfico vehicular (Avenida Cordialidad, Calle 30, Vía 40, Calle Murillo, Avenida Circunvalar) de la ciudad de Barranquilla. A partir de

los resultados se identificó que las mayores emisiones contaminantes por hora vías fueron los COVs con 53,9 kg/h y el CO con 158,6 kg/h. La hora del día con mayor emisión de contaminantes correspondió a las 8:00 a.m. con 265,9 kg/h de CO y la categoría vehicular que más contaminantes atmosféricos emitió fue las motos, con 87,9 kg/h de CO.

Urgilés & Salcedo (2019) el objetivo del estudio, se estableció en evaluar las emisiones de fuentes móviles vehiculares en la ciudad de Azogues. Entre los contaminantes que se consideraron para el análisis fueron los gases de efecto invernadero, compuestos orgánicos volátiles (VOC), material particulado (PM10), óxidos de azufre (SO_x). El estudio consistió en realizar una evaluación del parque automotor utilizando el método de inspección visual, utilizando cámaras. Los resultados obtenidos con el cálculo del IVE muestran una mayor composición de CO₂ donde un alto índice de flujo vehicular mayor emisión.

1.2.2 A nivel nacional

Portal (2020) en este estudio se evaluaron los modelos de estimación de emisiones para el parque automotor de vehículos livianos. Con el propósito de analizar los alcances y limitaciones de los modelos existentes. Con ello, se obtuvo que el modelo MOVES para estimar la generación de emisiones, las características y actividad vehicular de la ciudad de Lima. Permitiendo así representar al parque automotor de Lima.

Culquitante (2017) la investigación evalúa las emisiones vehiculares del servicio de taxi en circulación en la ciudad de Trujillo. Para el estudio se trabajó con una población conformada por 17 804 vehículos que prestan el servicio de taxi en Trujillo y la muestra fue de 138 Taxis. Se usó una ficha de observación como instrumento que permitió recopilar la información requerida. Los datos obtenidos fueron procesados utilizando la hoja de cálculo Excel y el programa estadístico SPSS 23 para realizar los análisis. Llegando a la conclusión que el 97.1% de los

taxis no cumple con los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes para vehículos automotores.

Tello (2019) la estimación de contaminantes atmosféricos vehiculares emitidos por moto taxis fue aplicando con el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE). La muestra vehicular del estudio fue conformada por 961 mototaxis, la recolección de datos de información fue realizado siguiendo las instrucciones del manual del modelo. Los contaminantes atmosféricos emitidos por mototaxis fue de 198192.15 g.día⁻¹, divididos en gramos de VOC, NO_x, SO_x, PM y CO: teniendo un total de 0.20 t/día, 5.95 t/mes y 72.34 t/año.

Hilario (2017) la evaluación de emisiones contaminantes de vehículos en el distrito de Huancayo para el año 2016, se realizó aplicando el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE), la población vehicular fue conformada de 61504 unidades. Se caracterizó la congestión vehicular, se recopiló información de tecnología vehicular mediante encuestas, se realizó grabaciones y conteo vehicular para determinar la partición de categorías vehiculares. El estudio proporciona una herramienta básica para disponer estrategias para evaluaciones retrospectivas y prospectivas de concentraciones de contaminantes en el aire y los impactos en la salud y bienestar.

García (2019) en el estudio los resultados de la medición de emisiones vehiculares en Chiclayo, en un período de 25 años (2018 – 2042), la población en el área supera los 517 906 habitantes. Para determinar factores de emisión por categoría y tecnología vehicular se usó la metodología del modelo “Emisiones vehiculares Internacionales” (IVE). Los resultados muestran que los mayores emisores de CO y COV son taxis - colectivos (41,9% y 29,1%) y mototaxis (17,7% y 33%), mientras que las mayores emisiones de NO_x y PM son originadas por camiones (46% y 88,3%). El resultado de la proyección muestra

que el desorden vehicular y la baja velocidad de circulación generan mayores emisiones y que el número de taxis es mayor a 30 por cada 1000 habitantes.

De la Cruz Lezama (2015) en el estudio: "Concentración de contaminantes del aire generado por las fuentes móviles en la ciudad de Huancayo 2012" fue el de estimar la concentración de los contaminantes del aire en la ciudad de Huancayo generado por las fuentes móviles, se aplicó la metodología de Economopoulos. El estudio de la investigación fue de tipo no experimental. Luego de las comparaciones se determinó que la concentración de los contaminantes del aire superan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire. Dando como resultado en el parque automotor de Huancayo de 56286,14 toneladas al año de contaminantes, teniendo como mayor fuente los vehículos a gasolina con un promedio de 0,73 toneladas al año por vehículo, seguido por los vehículos diésel con 0,34 y los vehículos a gas con solo 0,26.

Saavedra (2014) estimó las emisiones emitidas del flujo vehicular. Durante su recorrido en una sección promedio de 1 km, en una de las principales avenidas de la ciudad de Lima y a la hora de mayor congestión vehicular utilizó la metodología Modem 10, para posteriormente modificar las variables de la velocidad promedio, uso de nuevos combustible y tecnologías. Evaluando así las emisiones obtenidas con las producidas en un ambiente libre de congestión vehicular. De acuerdo a sus resultados, las emisiones generadas en un ambiente de tráfico aumentaron a 18407.0 kg/año. Finalizando que las emisiones comienzan a disminuir a razón que la velocidad promedio vehicular.

1.2.3 A nivel Local

Yucra (2017) El nivel de porcentaje de volumen de contaminación de gases emitidos, cuyos resultados estimados del nivel de dióxido de carbono (CO_2) fueron de 1.10 % a 18.70% en los 16 puntos de monitoreo y el promedio del dióxido de carbono con el monóxido de carbono es de 12.03%. Las emisiones de

gases en esta ciudad de Puno mostraron un comportamiento por debajo de los límites máximos permisibles (LMP) en el Perú.

Hoy en día, el parque automotor de la ciudad de Puno ha ido incrementando con el pasar de los años, ya que antes no era tan grande la presencia de vehículos ni la congestión vehicular en las principales calles de la ciudad.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVOS GENERALES

Determinar la efectividad del método, MÓDEM (2010), para la evaluación de emisiones atmosféricas generados en las zonas con un ambiente de mayor congestión vehicular.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar mediante el método, MÓDEM (2010), las emisiones atmosféricas generadas por tráfico vehicular, ubicando puntos estratégicos en el Jirón Lampa/Av. la Torre, Jirón Deza Mercado Central, Dante Nava/ Av. El Ejército Av. El sol, en horas de mayor concentración vehicular de la ciudad de Puno-2020.
- Determinar la cantidad de emisiones contaminantes generadas y los efectos significativos en las personas con contacto directo en un área de congestión vehicular Puno-2020.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Se define como la presencia de sustancias en la atmósfera que implican molestias o riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos, El nombre de la contaminación atmosférica se aplica por lo general a las alteraciones que tienen efectos perjudiciales en los seres vivos.

Tabla 01 Tipos de contaminantes, clasificación y fuente del medio ambiente

TIPO DE CONTAMINANTES	PRIMARIOS	SECUNDARIOS	FUENTES DE EMISIÓN
Compuestos de Azufre	SO ₂ , SH ₂	SO ₃ , H ₂ SO ₄ , MSO ₄	Combustión de carburantes conteniendo azufre Combustión incompleta de C ₁ , C ₃ , carburantes, industria del petróleo
Compuestos de Carbono	Hidrocarburos	Aldehídos, Acetonas	Combustión del N ₂ y O ₂ durante la combustión a alta temperatura
Óxidos de Carbono	CO, CO ₂	Ninguno	Industria metalúrgicas
Compuestos del gas de Nitrógeno	NO, NH ₃	NO ₂ , MNO ₃	Molienda de minerales
Compuestos Halogenados	HF, HCL	Ninguno	
Partículas	Varios		

Productos radiactivos	Varios	Generación atómica
-----------------------	--------	--------------------

Fuente: Medio Ambiente, Carranza 2011

2.1.1.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Estas fuentes pueden ser originadas mediante dos procesos: una natural y la otra por actividades humanas. Según la naturaleza de la fuente emisora pueden ser clasificadas en biogénicas y antropogénicas. (Guía de calidad de aire y Educación Ambiental - 003.pdf, s.f.-b)

Estas fuentes son:

1. Fuentes puntuales: de carácter estacionario y pueden estar en un punto fijo constante.
2. Fuentes móviles: se refieren al transporte urbano y rural.
3. Fuentes de área: actividades que afectan a la calidad del aire.
4. Fuentes naturales o biogénicas: Son actividades producidas de forma natural.

2.1.2 PRINCIPALES CONTAMINANTES DE LA ATMÓSFERA

2.1.2.1 Óxidos de Carbono

- Dióxido de carbono

Es uno de los gases más abundantes en la atmósfera. Cumple un papel importante en los procesos vitales de plantas, animales y, en definitiva, para el ser humano. (Consumer, E, 2010).

Cuando CO_2 se encuentra en una alta concentración dentro de un área cerrada, es peligroso porque desplaza el aire que inicialmente llenaba tal área y produce asfixia en un caso extremo. (Medina, J, 2010).

- Monóxido de carbono

Gas producido por la falta de oxígeno, dando como resultado el monóxido de carbono. Las fuentes móviles con motor diesel son las responsables del 80% de las emisiones a la atmósfera. Otras pueden ser

producidas por la combustión de madera, calefacción, cocinas, humo de cigarrillo. (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

2.1.2.2 Óxidos de azufre

- Dióxido de azufre

La cantidad de gas que llega a la atmósfera se vuelve a depositar en la superficie, mientras que un sobrante se convierte en iones sulfato. (Cemcaq, 2010).

Es un gas inflamable, pero no explosivo, muy soluble en agua y de una densidad mayor al del aire. (Cemcaq, 2010).

- Trióxido de azufre

Gas inflamable, tóxico causante de riesgos a la salud por inhalación, por contacto o ingestión, es precedente al ácido sulfúrico. (Babor, J & Ponjuan, A, 2014).

2.1.2.3 Óxidos de Nitrógeno

El óxido nítrico (NO) es un gas incoloro y no inflamable, pero inodoro y tóxico.

Está formado en su mayoría por los óxidos de nitrógeno que se forman por la oxidación del nitrógeno atmosférico durante los procesos de combustión a temperaturas elevadas.

Los NOx son potencialmente peligrosos para la salud. (Carnicer, J, 2007).

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) son los únicos óxidos de nitrógeno en la atmósfera e introducidos por el hombre.

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno del aire urbano se producen a través de las altas temperaturas alcanzadas en las combustiones que provocan la combinación directa del oxígeno y el nitrógeno en el aire para dar óxido nítrico (NO), y éste luego se oxida parcialmente a NO₂. (Consorci Sanitari de Barcelona, 2011).

2.1.2.4 Compuestos Orgánicos Volátiles

Estos hidrocarburos están presentes en la atmósfera, compuestos que llegan a producir daños respiratorios en los seres vivos, dichos compuestos contaminantes orgánicos son originados por el proceso de combustión y productos industriales.

Entre los más frecuentes hallamos al metano, etano, propano, acetileno, alcanos, bencenos, tolueno y butano que al ser combinados con otros contaminantes como los óxidos de nitrógeno resultan ser peligrosos produciendo ozono a nivel del suelo el cual contribuye al smog.

Las fuentes de los compuestos orgánicos volátiles (COV) en un 70% son de origen natural mientras que un 30% producido por la actividad del hombre. (ISTAS, 2010).

- Metano

Este gas es el más abundante e importante de los hidrocarburos atmosféricos de origen primario. Formándose de manera natural en reacciones anaeróbicas del metabolismo. No produce daños en la salud en ningún ser vivos, pero influye de manera significativa en el efecto invernadero y en las reacciones estratosféricas. (Echarri, L, 2007).

- Clorofluorocarburos (CFC)

Llamados también CFC, son derivados de los hidrocarburos saturados donde se intercambian átomos de hidrógeno por átomos de cloro y flúor.

Estos hidrocarburos no son de origen natural. Los clorofluorocarburos son gases utilizados en el mercado industrial.

Como fruto de la química industrial, por esta razón su degradación es muy difícil y su presencia en la atmósfera se prolonga durante muchos años (50–100). (Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes PRTR España, 2008).

Son gases inertes que no reaccionan con los tejidos animales ni vegetales y se degradan combinándolo con el ozono estratosférico, en condiciones de frío y luminosidad. Esta reacción química también implica la destrucción del ozono.(Mannise,R,2019).

2.1.2.5 Partículas y aerosoles

Son contaminantes presentes en las grandes ciudades muy tóxicas por el tamaño de partículas que suelen ser microscópicas y entradas en la atmósfera en esta de suspensión entre ellas podemos identificar como ejemplo el polen, polen, polvo, hollín, metales, etc.(Echarri,L, 2007).

Los aerosoles atmosféricos son partículas menores a 100 micras,los encontramos en estados sólido o líquido.Estas partículas están presentes en la atmósfera.Formado de manera natural por tormentas de arena o las erupciones volcánicas, estos aerosoles son emitidas también por actividades antropogénica, causando efectos en el clima y en la salud humana potencialmente dañinos para las funciones cardiovascular y pulmonar.(Moreno,T. 2007).

2.1.2.6 Ozono

El ozono troposférico es un contaminante secundario que se forma fotoquímicamente a partir de compuestos precursores, y que registra niveles crónicos elevados en zonas naturales alejadas de focos urbanos e industriales. El O_3 es absorbido por las plantas generando oxidantes que alteran el metabolismo y la fisiología vegetal.(Ruiz,C, & Bermejo, V, 2019).

En zonas industriales encontramos al ozono en grandes cantidades sobre todo en concentración de flujo vehicular.(Muñoz,Q. 2006).

2.1.1 CONTAMINANTES DEBIDO A FUENTES MÓVILES

Las emisiones por fuentes móviles se produce por la quema de combustibles fósiles utilizados por el parque automotor ya que los

vehículos automotores son los principales emisores de contaminantes como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, dióxidos de azufre y compuestos orgánicos volátiles.

Los motores de los vehículos son los responsables de las emisiones de CO, de compuestos orgánicos volátiles, SO₂, y NO_x, producidos durante la combustión.(IDEAM, 2013).

Ejemplos de fuentes móviles son los aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinarias no fijas con motores de combustión y similares, que por su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.(Caminos,J & Ghirardi,R, 2011).

Los principales contaminantes emanados por los vehículos automotores son:monóxido de carbono (CO),hidrocarburos no quemados (HC),Óxidos de nitrógenos (NO_x)

2.1.2 EFECTOS SOBRE LA SALUD

Son muchos los efectos a corto y a largo plazo que la contaminación atmosférica puede ejercer sobre la salud de las personas. La contaminación atmosférica urbana aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias agudas, como la neumonía, y crónicas, como el cáncer del pulmón y las enfermedades cardiovasculares.

La Organización Mundial de Salud da a conocer que las emisiones a la atmósfera afecta en gran escala a las personas que ya tienen problemas respiratorios o carecen de alguna enfermedad,estando entre los más vulnerables los niños y adultos mayores como ancianos. Causando efectos nocivos a su salud.(OMS, 2013).

La OMS estima que la contaminación atmosférica exterior en 2012 se produjo 3,7 millones de muertes a causa de fuentes urbanas y rurales en todo el mundo.(OMS | Los efectos sobre la salud, 2019).

a) Efectos por exposición a partículas en suspensión

Uno de los principales efectos que provoca la exposición constante de partículas, es el riesgo de tener enfermedades respiratorias y cardiovasculares.(OMS, 2013).

Las partículas de 10 micras o menos son las más dañinas.Estas partículas son muy perjudiciales porque se alojan y penetran el interior de los pulmones.(OMS, 2013).

b) Efectos por exposición al ozono

La gran concentración de ozono en el aire produce efectos en la salud humana, como:problemas respiratorios,asma y el mal funcionamiento de los pulmones.(OMS, 2013).

c) Efectos por exposición al óxido de nitrógeno

Generados en el aire a temperatura y presión alta presentes dentro del motor,cuando el nitrógeno reacciona con el oxígeno.Sus altos niveles en el aire puede provocar irritación en los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones e incluso causar la sensación de falta de aliento, cansancio y/o náuseas.Este gas contribuyen a la formación de smog y a la formación de lluvia ácida.(Alvarado,M & Aguirre,A, 2010).

La mezcla de gases de óxidos de nitrógeno toma un papel importante, tanto en el Cambio Climático como en la salud humana causando efecto nocivo en la salud, algunos graves como el cáncer de pulmón. Esto

convierte a la contaminación atmosférica en un problema de Salud Pública que hay que remediar cuanto antes.(Rivas,L & Zaragoza,J, 2015).

d) Efectos por exposición al óxido de azufre

Es un gas que no tiene color, pero que al penetrar las vías respiratorias, destruye el epitelio de los pulmones, causando inestabilidad pulmonar y efectos en los bronquios, evitando así la evacuación de partículas de polvo y aerosol.

Otro de los peligros de este gas es la “lluvia ácida” que es producto de la precipitación combinada con dióxido de azufre. La cual daña la vegetación, edificios, causa la degradación del suelo y contamina cursos de agua. El dióxido de azufre afecta los ojos y la piel. Como consecuencia de la alta exposición en altas concentraciones la personas experimentan un deterioro en su respiración.(Roman,M. 2017).

e) Efectos por exposición al monóxido de carbono

Algunos de los efectos perjudiciales es que disminuye la capacidad de oxigenar la sangre de forma natural provocando peligrosos riesgos así como enfermedad cardiaca.

Es un contaminantes muy peligroso para la salud humana ya que causa una reducción en la capacidad de transportar oxígeno en la sangre(Roman,M. 2017).

El monóxido de carbono produce deficiencia en todos los tejidos del cuerpo y que al juntarse con la hemoglobina provoca que no pueda transportar oxígeno en la sangre(Muñoz T & Vásquez C, 2020).

2.1.3 EFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

La contaminación atmosférica es la presencia en la atmósfera de elementos contaminantes que afectan a sus componentes y modifican la composición de la atmósfera. Sus efectos son perjudiciales,teniendo

efectos secundarios sobre nuestro entorno como en el suelo, agua, vegetación y materiales fabricados por el hombre.(Paneque,D. 2016).

a) Visibilidad

Estudios preliminares realizados por científicos muestran datos de un aumento continuo de aerosoles en la atmósfera durante el periodo que va de 1973 a 2007 y la consiguiente pérdida de visibilidad debido a que éstos impiden la llegada de las radiaciones solares a la superficie de la tierra.La contaminación del aire interfiere a la visibilidad, provocando una serie de problemas,como en los vuelos de aviones.(Wang,K.2009).

La disminución de la visibilidad y la presencia de sulfatos en la atmósfera. Demuestra que los períodos de mínima visibilidad corresponden con concentraciones máximas de sulfatos y nitratos presentes en la atmósfera.(Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial - UNMSM, 2004).

b) Calentamiento de la atmósfera

Los gases originados por la quema de combustible fósil,están provocando que la temperatura del planeta aumente causando el incremento del reflejo de calor hacia la superficie, en su mayoría son emitidos por fábricas como el dióxido de carbono.

El efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono que por un lado están ayudando a que se produzca un calentamiento rápido del planeta con consecuencias desastrosas para los ecosistemas existentes, **cambio climático**, desertización de grandes zonas, aumento del nivel de los mares.(PHS Serkonten, 2018).

c) Lluvia ácida

Se produce por los vertidos a la atmósfera provocados por el uso de combustibles en las actividades humanas.La lluvia ácida es el resultado de la precipitación que contiene alta concentración de ácidos debido a las

emisiones atmosféricas. Los óxidos de azufre y de nitrógeno derivados de la quema de combustible fósil se mezclan con el agua en la atmósfera y producen este tipo de la cual es transportada por los vientos, en dónde después de caer se absorbe y mezcla con los acuíferos, afectando también a la agricultura, ganadería y pesca como fuentes de alimento, aumentando la toxicidad tanto del agua, como de los seres vivos.(PHS Serkonten, 2018).

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 PARQUE AUTOMOTOR COMO PRINCIPAL FUENTE DE CONTAMINACIÓN

En la capital del Perú. Lima se puede apreciar que en los últimos 5 años hay un incremento de vehículos dentro de la ciudad, incrementando la contaminación sonora y ambiental.

Tabla 02 Parque Automotor Nacional estimado por la clase de vehículo según departamento: 2016

DEPARTAMENTOS	TOTAL	Automóvil	Station wagon		Camionetas			Ómnibus		Camión	Remolcador	Remolque Semirem.
			wagon	Pick-up	Rural	Panel						
TOTAL	2661.719	1167.041	403.193	283.479	365.316	43.387	80.119	213.155	43.604	62.425		
Lima / Callao	1752.919	807.529	284.251	163.793	236.502	31.006	50.441	116.601	29.52	33.276		
La Libertad	190.073	77440	21.459	25.037	18.382	1.372	7.105	21.208	4.548	13.522		
Arequipa	187.929	89.335	14.236	21.353	27.142	1.989	5.099	16.853	4.804	7.118		
Cusco	73.997	29.313	12.253	9.108	11.3	578	2.938	8.16	281	66		
Lambayeque	68.261	30.741	5.908	9.192	9.418	1.034	1.348	8.088	572	1960		
Junín	67.049	22.296	12.308	8.749	9.715	295	2.139	9.231	881	1.435		
Piura	55060	23.771	4.922	10.378	7915	400	1.28	5.503	518	373		
Tacna	49.382	18040	11.476	4.777	5580	1.556	1.703	4.727	614	909		
Puno	47.696	8.711	8.867	4740	14.029	3246	2.562	4.887	297	357		
Áncash	33.542	14.484	5.472	4.009	5.555	235	940	2.415	199	233		
Los demás	135.811	45.381	22.041	22.343	19.778	1.676	4.564	15.482	1370	3.176		

Fuente: MTC 2016

2.2.2 CONGESTIÓN VEHICULAR

El embotellamiento vehicular llamado también congestión vehicular es el aumento de circulación y el tiempo de flujo de tránsito. Aumentando el tránsito y reduciendo la velocidad de los vehículos en el flujo de tránsito.(Ruiz,E. 2015).

2.2.2.1 CAUSAS DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR

La congestión vehicular es un problema que parece empeorar y no tener solución. Sin embargo, darle fin a este problema representa una tarea imposible y costosa.(Bravo,A. 2018).

Entre sus principales causas que originan son: incremento apresurado de la población (corto plazo), mayor tiempo en viajes hacia el trabajo, colegio, etc (largo plazo).

2.2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR

Intensidad:Número de automóviles que circulan por un tramo,ruta,calle avenida, sección durante un tiempo determinado,representando la mayor concentración vehicular en dicho tiempo.(Pedro,T. 2015).

Composición:Tipo categorías vehiculares y clase de vehículos que transitan en la vía.(Pedro,T. 2015).

Velocidad de recorrido: Es la relación de la distancia total recorrida en una vía entre el tiempo que transcurre desde que el vehículo inicia y termina su trayecto donde se considera las detenciones y retrasos provocados en la congestión vehicular.

2.2.3 EMISIONES VEHICULARES

Los automóviles que se desplazan con la ayuda de un motor de combustión interna producen dos tipos de emisiones que son:emisiones evaporativas y emisiones generados por el tubo de escape.Tenemos entre ellos al monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x),

óxidos de azufre (SO_x), material particulado (PM). (Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares, 2010).

2.2.3.1 EMISIONES EVAPORATIVAS

La Guía Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares menciona que las emisiones originadas por la evaporación de combustible ocurren cuando el vehículo está en completo movimiento o cuando está estacionado. Su dimensión dependerá de las características que tenga el motor en el vehículo, también de la temperatura ambiental y de la presión de vapor del combustible. (Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares, 2010).

Diversos estudios señalan que la mayoría de las emisiones evaporativas se presentan en vehículos estacionados.

Algunos de los procesos por los que se presentan las emisiones evaporativas en los vehículos son:

- Emisiones diurnas, generado debido a los cambios de temperatura a través de las 24 horas del día.
- Emisiones del vehículo recién apagado con el motor caliente, debido a la volatilización del combustible por su calor residual.
- Se presentan cuando el motor está en operación normal.
- Vehículo en reposo con el motor frío, ocurre debido a la permeabilidad de los componentes del sistema de combustible.
- Fugas de vapores del tanque de combustible durante el proceso de recarga.

2.2.3.2 EMISIONES POR EL TUBO DE ESCAPE

Entre las emisiones generadas por el tubo de escape tenemos: monóxido y dióxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y material particulado, que son el resultado de la quema del combustible

Estas emisiones dependen de las características del vehículo, su tecnología, su sistema de control de emisiones, el estado de mantenimiento del vehículo y las características del combustible.(Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares, 2010).

2.2.3.3 EMISIONES DE FRENOS Y NEUMÁTICOS

Estas emisiones están asociadas al desgaste de los frenos y neumáticos debido al tiempo de uso. Los contaminantes que se generan son material particulado que están en función de la categoría vehicular y del nivel de actividad que estos tengan. Las partículas que proceden del desgaste de embragues y neumáticos y el polvo del asfalto se han convertido en el 50% de los contaminantes del aire.(The guardian, 2016).

2.2.4 MODELOS DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Los modelos de emisiones de contaminantes en el aire nos ayudan a poder interpretar,predecir y simular las concentración de contaminantes presentes en el aire causados por el flujo vehicular y otras fuentes de emisión. Estos modelos son representados por fórmulas matemáticas,los resultados de las estimaciones aportadas por los modelos ayudan a poder evaluar un impacto sobre un medio.Los modelos de emisiones contaminantes son un instrumento de mucha utilidad y necesarios para el estudio de los contaminantes atmosféricos.(Jerez,A. 2008).

Estos métodos permiten que el usuario pueda realizar estimaciones y obtener valores numéricos con pocas variables de forma hipotética,tomando en cuenta el número de vehículos movilizados en el área de estudio o en una vía determinada, con una velocidad determinada.(Alvarado,M & Aguirre,A 2010).

2.2.5 APORTACIÓN Y OBJETIVOS DE LOS MODELOS:

- Permite anteponerse a los problemas de contaminación atmosférica.

- Como herramienta permite la decisión de la planificación y toma de medidas correctoras ante un problema.
- Combinar los elementos que permiten alcanzar una buena calidad del aire.

2.2.6 FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión dependen de la situación de tráfico. Para cada una de éstas, se tienen factores de emisión para vehículos de pasajeros, comerciales, motocicletas, buses urbanos e interurbanos y camiones, todos con diferentes tecnologías vehiculares.(Espinosa,S. 2013).

Los factores de emisión, tiene como fin estimar la concentración de contaminación generados por un ambiente de tráfico vehicular, que son calculados de acuerdo a cada tipo o categoría vehicular considerando las variables que se adecuan a las características del lugar donde se desea realizar el estudio.(Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares, 2010).

2.2.7 CONTENIDO DE AZUFRE EN EL DIESEL

Según el Decreto Supremo N° 025-2017-EM Considerando La Ley N° 28694, Ley que regula el contenido de azufre en el combustible Diesel, establece las medidas necesarias para la regulación de los niveles de azufre contenidos en el combustible Diésel, con el objetivo de salvaguardar la calidad del aire y la salud pública. Debido a la cantidad de fuentes móviles emisoras que representan los vehículos que funcionan con gasolinas y gasoholes, se consideró necesario establecer la reducción del contenido de azufre por debajo de los 50 ppm en las gasolinas y gasoholes de alto octanaje a partir del 1 de enero del 2018.(Ministerio del Medio Ambiente, 2017).

2.3 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL

El método MÓDEM (2010), en la determinación de emisiones de contaminantes atmosféricos, generados por el tráfico vehicular en la ciudad de Puno tiene un buen nivel de efectividad.

2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

Los valores de las emisiones de contaminantes atmosféricos determinados por el método MÓDEM (2010), en las zonas con mayor flujo vehicular de la ciudad de Puno, son confiables.

Las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por el constante tráfico vehicular, afectan a la salud de las personas en las áreas de influencia directa de estudio.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ZONA DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Puno, en la sección de las calles:

Tramo 1: Jirón Lampa/Av. la Torre – Mercado Central, con una distancia de 0.4 km aproximadamente.

Tramo 2: Ovalo Ramón Castilla – Av. El Ejército – Av. El Sol, con una distancia de 1.5 km aproximadamente.

La distancia del área de estudio total es de 2 km aproximadamente y está conformado por 4 puntos de control.



Figura 1 Área de estudio Tramo 1
Fuente: Google Earth

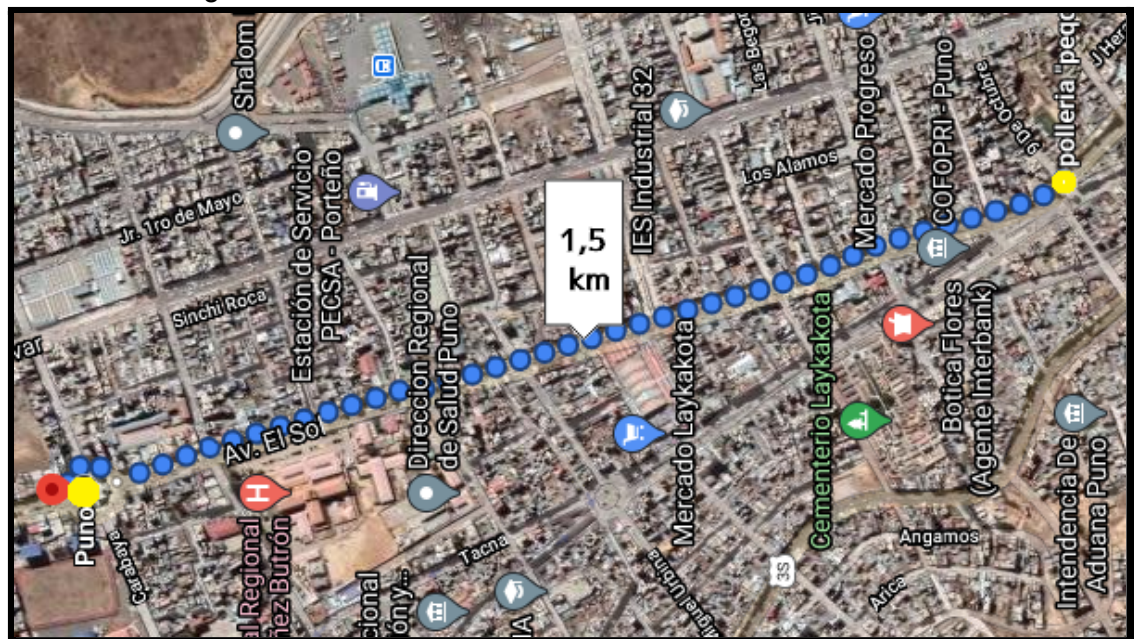


Figura 2 Área de estudio Tramo 2
Fuente: Google Earth

3.2 TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

La población estuvo definida por todas las unidades vehiculares que se encuentran en circulación en la ciudad de Puno, entre ellos tenemos: motocarros, motocicletas, vehículos particulares, combis, etc.

3.2.2 MUESTRA

La muestra son las unidades encuestadas al momento de realizar las mediciones en las calles: Jirón Lampa/Av. la Torre – Mercado Central y Ovalo Ramón Castilla – Av. El Ejército – Av. El Sol.

3.2.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Están incluidos en la muestra todos los vehículos que se encuentran en circulación y los vehículos que no se encuentran en circulación quedan excluidos de pertenecer a la muestra.

3.3 MÉTODO Y TÉCNICAS

3.3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Descriptivo aplicativo debido a que servirá para realizar un análisis de los contaminantes generados en un ambiente vehicular (parque automotor), en el cual no se modifican las variables de estudio.

La metodología de la investigación es el método descriptivo, aplicativo y observacional.

3.3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es descriptivo y aplicativo donde no se modificará ninguna de las variables de estudio, el enfoque será cuantitativo porque se utilizan valores numéricos y ecuaciones de cálculo.

Para la realización del trabajo de investigación se dividirán en 3 etapas con el fin de poder llevar un mejor control de los datos y resultados.

Etapa 1: Recaudación de datos

Etapa 2: Estudio de variables

Etapa 3: Comparación de datos y resultados obtenidos.

3.3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

a) Etapa de Recaudación de Datos:

- Obtención de datos del tráfico vehicular:
 - 2 cámaras digitales: para poder grabar el flujo vehicular existente en los puntos de monitoreo observando así las categorías vehiculares presentes en el área de estudio.
 - Laptop y/o computadora: para observar y reproducir las grabaciones realizando así el conteo manual de los vehículos respecto a cada punto de control.
- Estimación y cálculo de la velocidad vehicular promedia
 - Datos de las horas con mayor congestión vehicular
 - Cronómetro: Para monitorear los tiempos de recorrido de los vehículos de acuerdo al tipo de categoría.
 - Hoja de campo: para un mejor manejo de datos (**Ver anexo 1**)
- Estimación y cálculo de emisiones contaminantes
 - Concentración vehicular numérica y porcentual del flujo vehicular de la Ciudad de Puno (en los puntos de monitoreo), considerando el tipo de vehículo.
 - cálculo de la velocidades vehicular promedia obtenida
 - Tabla de valores de coeficientes para cada tipo de vehículo recomendado por la metodología.
 - Laptop y/o computadora.

b) Etapa de estudio de variables:

- Datos numéricos de las emisiones vehiculares obtenidas
- Laptop y/o computadora

c) Etapa de comparación de datos y resultados:

- Información de las emisiones obtenidas en los puntos de monitoreo, comparando datos con otros estudios realizados en un ambiente de similares características.
- Laptop y/o computadora.

3.3.4 MÉTODO

En la presente investigación se usó como herramienta primordial el Modelo de Estimación Vehiculares MODEM para el desarrollo de y el cálculo de las estimaciones deseadas a estudiar. El MODEM es un método que se basa en fórmulas matemáticas ya dadas, que facilita el cálculo de emisiones contaminantes atmosféricos producidas en zonas urbanas o donde exista actividad vehicular terrestre.

3.3.4.1 DETERMINACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA METODOLOGÍA MÓDEM (2010) PARA LA EVALUACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Para la efectividad del método Módem (2010) se recolectaron datos como el número de tráfico vehicular que transita en el tramo 1 como en el tramo 2 consideradas en horas de mayor congestión vehicular, calculando con modelos matemáticos la emisión de contaminantes atmosféricos.

3.3.4.2 DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS CON EL MÉTODO MÓDEM (2010)

3.3.4.2.1 ETAPA DE RECAUDACIÓN DE INFORMACIÓN

OBTENCIÓN DE DATOS DEL TRÁFICO VEHICULAR

Para poder determinar la concentración del flujo vehicular sobre el parque automotor en los puntos de control, se usó dos cámaras filmadoras como apoyo para poder verificar los tipos de vehículos presentes en la vía; una al ingreso de una calle y otra a la salida del mismo, conociendo así la intensidad vehicular promedio según cada categoría vehicular. Esta etapa se realizará para cada Tramo de estudio. Para la distancia de los tramos se consideraron vías con mayor presencia vehicular, la metodología no define una distancia mínima de longitud, pero sí recalca que a " mayor longitud de vía, mejores resultados ".

Tabla 03 Categoría Vehicular

CATEGORÍA VEHICULAR	
Categoría L (L1-L4-L5)	Moto lineal, motocarros
Categoría M (M1-M2-M3)	Taxis, combis, buses.
Categoría N (N1-N2-N3)	4x4, Camiones de carga.
Categoría O (O1-O2-O3-O4)	Remolques y Semirremolques.
Categoría Especiales (SA-SB-SC-SD-SE-SF-SG)	Casa rodantes, vehículos blindados, ambulancias, vehículos funerarios, bomberos, porta tropas, vehículos celulares.

Fuente: MTC

El tiempo de grabación fue definido por horarios, tomando en cuenta las horas con mayor congestión vehicular como se muestra en la tabla 04. La metodología MODEM define que se debe realizar la recolección de datos 10 días como mínimo en un promedio de una hora diario.

Tabla 04 Horario para el área de estudio

ÁREA DE ESTUDIO	HORARIO	DURACIÓN	DURACIÓN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN
Jirón Lampa/Av. la Torre	6 y 30 pm -	1 Hora	10 Días
- Mercado Central	7 y 30 pm		
Ovalo Ramón Castilla - Av. El Ejército - Av. El Sol.	1 pm - 2pm	1 Hora	10 Días

Una vez revisadas las grabaciones de los días de recolección de datos, se realizó un conteo manual vehicular ,contando cada vehículo que transita en la vía considerando también el tipo de categoría al

que pertenece el vehículo, este proceso se aplicó tanto a la entrada como a la salida del área de estudio para cada Tramo.

Los datos fueron promediados para poder adquirir la concentración de “la composición vehicular promedia”(CVP).

Este procedimiento se realizó para cada Categoría Vehicular presente en el Área de estudio.

Fórmula:

$$CVP_k = \frac{CVEk + CVSk}{2}$$

Donde:

CVP_k : Composición Vehicular Promedia según cada categoría vehicular.

$CVEk$: Composición Vehicular a la entrada del área de estudio según cada categoría vehicular.

$CVSk$: Composición Vehicular a la salida del área de estudio según cada categoría vehicular.

k: Categoría Vehicular.

ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE LA VELOCIDAD VEHICULAR PROMEDIA

La estimación de las velocidades vehiculares se realizó mediante la medición de los tiempos de recorrido según cada categoría de vehículo. Con la ayuda de un cronómetro se mide los tiempos que demoran los vehículos en recorrer el área de estudio. Este monitoreo es de manera continua durante todo el periodo de congestión vehicular en intervalos de 15 minutos. Una vez obtenido estos valores se calculó la velocidad promedia para cada categoría vehicular presentes en el área de estudio.

Fórmula para transformar tiempo de recorrido en velocidad de recorrido:

$$V_r = \frac{D_t}{T_r}$$

Donde:

V_r: Velocidad de recorrido según cada categoría vehicular (km/hora)

D_t: Distancia total de recorrido (km)

T_r: Tiempo de recorrido según cada categoría vehicular (hora)

Para obtener la velocidad única de recorrido aplicaremos la siguiente fórmula:

$$V_{ur} = \frac{\sum(QV_k \cdot V_{rk})}{Q_t}$$

V_{ur}: Velocidad única de recorrido en el área de estudio (km/hora)

QV_k: Cantidad de vehículos de la categoría k que recorren el área de estudio (CVP)

V_{rk}: Velocidad de recorrido de la categoría k (km/hora)

Q_t: Cantidad total de vehículos que recorren el área de estudio (CVP_{total})

ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE EMISIONES CONTAMINANTES

Los factores de emisión se calcularon teniendo en cuenta las clasificaciones vehiculares y las velocidades promedias.

- a) Emisiones en caliente (tubo de escape)
- b) Emisiones evaporativas en circulación
- c) Emisiones por desgaste de neumáticos y frenos

Los contaminantes cuantificados en la investigación, están basados de acuerdo al método MODEM 10 los cuales son:

- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de nitrógenos (NOx)
- Hidrocarburos no quemados (HC)

Las Emisiones Totales se estimaron con la siguiente fórmula:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{caliente}} + E_{\text{evaporativa}} + E_{\text{desgaste}}$$

En donde:

E_{total} : Emisiones totales (kg/año)

E_{caliente} : Emisiones en caliente, fase estabilizada del motor (tubo de escape) (kg/año)

$E_{\text{evaporativas}}$: Emisiones evaporativas en circulación (kg/año)

E_{desgaste} : Emisiones por desgaste de frenos y neumáticos (kg/año)

No se consideraron las emisiones de partida en frío (tubo de escape) debido a que en un ambiente de congestión, los vehículos permanecen en un funcionamiento activo en un tiempo prolongado.

1. Cálculo de emisiones en caliente (tubo de escape)

Para la estimación de las emisiones en caliente, se usó la siguiente fórmula:

$$E_p = \text{TPD} \cdot L \cdot \text{FE}_p$$

En donde:

E_p : Emisiones del contaminante p (kg/día)

TPD : Tráfico promedio diario (veh/día)

L : Longitud de la vía (km)

FE_p : Factor de emisión del contaminante p (kg/veh-km)

El FE_p está definido por una fórmula que te indica las tablas de acuerdo al tipo de contaminante y vehículo.(Ver Anexo 2, Anexo 3, Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6, Anexo 7),

2. Cálculo de emisiones evaporativas en circulación

Las emisiones evaporativas se calcularon con la aplicación de la siguiente fórmula:

$$E_{evap}RL_{kj} = \sum(FE_{evap}RL_k \cdot F_{kj} \cdot L_j)$$

Donde:

$E_{evap}RL_{kj}$: Emisiones evaporativas en circulación de la categoría k por la red vial j (kg/día)

$FE_{evap}RL_k$: Factor de emisión para emisiones evaporativas en circulación debido al recorrido de la categoría k (kg/veh-km)

F_{kj} : Flujo vehicular de la categoría k en la vía j (veh/día)

L_j : Longitud de la vía j (km)

Los factores de emisiones evaporativas en circulación ya están dadas por la metodología MÓDEM, podemos verlas en la siguiente tabla:

Tabla 05 Emisiones evaporativas en circulación

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	FACTOR DE EMISIÓN
Emisiones por perdida durante el recorrido con T° motor <70°C	gr/km	0.1[0.1*exp(5.967+0.04259*RVP+0.1773*ta)]
Emisiones por perdida durante el recorrido con T° motor >70°C	gr/km	0.1[0.136*exp(-5.967+0.04259*RVP+0.1773*ta)]

Fuente: MÓDEM.2010

En donde:

ta : Temperatura ambiental en el área de estudio (°C)

RVP : Presión de vapor Reid del combustible (PSI) (Ver anexo 8)

3. Cálculo de emisiones por desgaste de neumáticos y frenos

Se utilizó la siguiente fórmula para la estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por el desgaste de frenos y para el desgaste de neumáticos se aplicará la misma fórmula:

$$E_{i,k} = \sum(k.NA_k.FE_k.f_i.S(V))$$

En donde:

$E_{i,k}$: Emisiones de material particulado provenientes del desgaste de neumáticos o frenos para el tamaño de partícula i y la categoría vehicular k (kg/día)

k : Cantidad de vehículos correspondientes a la categoría k (veh)

NA_k : Nivel de actividad de la categoría vehicular k (km/día)

FE_k : Factor de emisión de material particulado para la categoría vehicular k (kg/veh-km)

F_i :Fracción de masa del material particulado que puede ser atribuido al tamaño de partícula i .

$S(V)$:Factor de corrección con respecto a la velocidad de circulación.

La metodología MÓDEM ya establece los factores de emisión provenientes del desgaste de neumáticos y frenos, mostrada en la tabla 06.

Tabla 06 Factor de emisión neumáticos y frenos

CATEGORÍA VEHICULAR	NEUMÁTICOS	FRENOS
Motocicleta	0.0046	0.0037

Auto Liviano	0.0107	0.0075
Camiones Liviano	0.0169	0.0117
Camiones Pesados	(*).0.02247	(*).0.0327 476

Fuente: MÓDEM,2010

(*) Para los valores de factores de emisión de camiones pesados, su valor fue estimado usando para el cálculo la siguiente fórmula:

- Factor de emisión de neumáticos:

$$FE_{cam.pe y bus} = (N^{\circ}_{axle}/2). FCC. FE_{autos livianos}$$

- Factor de emisión de frenos:

$$FE_{cam.pe y bus} = (3,13).FCC.FE_{autos livianos}$$

Donde:

$FE_{cam.pe y buses}$: Factor de emisiones de camiones pesados y buses (kg/día)

$FE_{autos livianos}$: Factor de emisión de los autos livianos (kg/día)

$N^{\circ}axle$: Número de ejes del vehículo

FCC : Factor de corrección de la carga

El factor de corrección de la carga se calculó usando la siguiente fórmula:

- Factor de corrección de neumáticos:

$$FCC = 1.14 + (1.38) FC$$

- Factor de corrección de frenos:

$$FCC = 1 + 0.79 FC$$

En donde:

FCC : Factor de corrección de la carga

FC : Factor de carga para camiones pesados y buses cuyo rango va desde 0 hasta 1, considerando 0 para un camión o bus vacío y 1 para un camión o bus totalmente cargado y/o lleno.

La tabla 07 muestra la distribución del tamaño de las partículas emitidas por el desgaste de neumáticos o frenos en relación con las partículas totales suspendidas:

Tabla 07 Fracción de masa de material particulado para el desgaste de neumáticos y frenos

TAMAÑO DE PARTÍCULA	Desgaste de neumáticos	Desgaste de frenos
PTS	1.000	1.000
PM ₁₀	0.600	0.980
PM _{2.5}	0.420	0.390
PM ₁	0.060	0.100
PM _{0.1}	0.048	0.080

Fuente: MÓDEM,2010

La tabla 08 nos muestra los factores de corrección según intervalos de velocidad. Los valores fueron empleados para todas las categorías vehiculares existentes en la vía:

Tabla 08 Factores de corrección para el desgaste de neumáticos y frenos

Intervalo de velocidad vehicular	Factor corrección neumáticos	Factor corrección frenos
V < 40 km/hora	1.39	1.67
40km/hora ≤ V ≤ 90km/hora	-0.00974V + 1.78	-0.0270V + 2.75
V > 90 km/hora	0.902	0.185

Fuente: MÓDEM,2010

En donde:

V : Velocidad vehicular promedio (km/hora)

3.3.4.3 DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y LOS EFECTOS SIGNIFICATIVOS EN LAS PERSONAS CON CONTACTO DIRECTO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Con los datos obtenidos con el Método MÓDEM (2010) se deduce que las emisiones de CO (Monóxido de carbono) en el tramo 1 y Tramos 2 son altamente contaminantes para las personas que se movilizan y tienen contacto directo con el flujo vehicular en las horas determinadas.

3.4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

A. Variable Independiente:

-Emisiones atmosféricas

Estimación de emisiones de contaminantes generados por fuentes móviles

• Dimensión

1. Contaminación al medio ambiente
2. Molestias en el ser humano
3. Parque automotor

B. Variable Dependiente

-Ambiente (atmosférico)

Congestión vehicular

• Dimensión

1. Velocidad vehicular
2. Tipo de vía

C. Limitación espacio y tiempo

Principales calles con mayor presencia vehicular: Jirón Lampa/Av. la Torre – Mercado Central y Ovalo Ramón Castilla – Av. El Ejército – Av. El Sol.

Tamaño área de estudio: 2 kilómetros.

Tabla 09 Cuadro de operalización de variables

Variables	Dimensión	Indicador	Tipo de variable
Emisiones atmosféricas (fuentes móviles)	Contaminación al medio ambiente.	Kg/día	independiente
	Molestias en las personas.	Kg/año	
Ambiente (atmosférico)	Parque automotor	Composición vehicular	dependiente
	Congestion vehicular	Velocidad vehicular	
	Tipo de vía	Km/h	

La variable independiente es la que influye en la variable dependiente

Vi. Las emisiones atmosféricas influyen en la Vd. ambiente (atmosférico).

3.5 DISEÑO ESTADÍSTICO

Para evidenciar la efectividad de la metodología Modem 10, y comparar los datos obtenidos de las emisiones contaminantes atmosféricas en los puntos de estudio de la ciudad de Puno, se aplicó el método estadístico descriptivo, medidas de posición central, sistematizado y presentados en tablas y figuras (representaciones gráficas) de los datos procesados mediante fórmulas matemáticas propias de la de la metodología módem (2010) que permiten calcular las emisiones de contaminantes atmosféricos producidos por la actividad vehicular terrestre en zonas urbanas, para ser analizados, interpretados y discutidos.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 EFECTIVIDAD DE LA METODOLOGÍA MÓDEM (2010) EN LOS TRAMOS 1 Y 2

La efectividad del método MÓDEM (2010) es definida por la obtención de datos concretos de las emisiones atmosféricas contaminantes y flujo vehicular en el área de estudio.

4.2 DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS VEHICULARES CON EL MÉTODO MÓDEM (2010) EN LOS TRAMOS 1 Y 2

En el presente trabajo de investigación se realizaron los estudios en dos Tramos, de los cuales los resultados son los siguientes:

Tramo 1: Emisiones a la atmósfera con un valor de 3280.82 kg/día, emisiones de hidrocarburos evaporados con una estimación de 194,38 kg/año y emisiones totales alcanzando un valor de 3524,46 kg/año,

Tramo 2: Emisiones a la atmósfera con un valor de 9896,54 kg/día, emisiones de hidrocarburos evaporados con un valor de 791,89 kg/año y emisiones totales alcanzando un valor de 10.889,14 kg/año.

TRAMO 1: JIRÓN LAMPA/AV. LA TORRE – MERCADO CENTRAL

OBTENCIÓN DE DATOS DEL TRÁFICO VEHICULAR:

Como se puede observar en la Tabla 08, Figuras 3 y 4, los vehículos que más circulan por el área de estudio y en el periodo de tiempo determinado son los vehículos de la

Categoría M con un valor promedio de 5307 unidades abarcando el 90 % del total de vehículos. Seguido por la Categoría L con un 430 unidades con un valor del 7% , los vehículos de Categoría N con 130 unidades y un 2% por último los de Categoría Especiales con 28 unidades y 1% del total de vehículos en circulación.

La intensidad vehicular es de 5893 vehículos en promedio durante una hora.

Tabla 10 Tránsito Vehicular Promedio

CATEGORÍAS	CVP	%
Categoría L	430	7.3
Categoría M	5307	90.0
Categoría N	130	2.2
Categoría Especiales	28	0.5
TOTAL	5893	100.0

El autor Saavedra,J (2014) en su investigación en la ciudad de Lima indica una intensidad vehicular de 1983 en promedio durante una hora (**Ver Anexo 9**),tomando en cuenta que el estudio se realiza en el 2014 y que en el 2016 Lima/Callao obtiene un total de parque automotor de 1752.919 de vehículos y Puno en ese mismo año con 47.696 de vehículos donde aún no existía una gran intensidad vehicular como en la actualidad. Estos datos pueden ser corroborados en la Tabla 02 Parque Automotor Nacional estimado por la clase de vehículo según departamento: 2016.

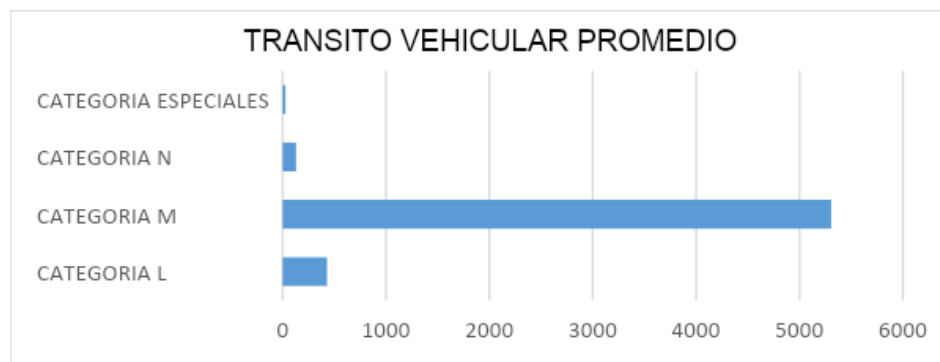


Figura 3 Tránsito Vehicular Promedio

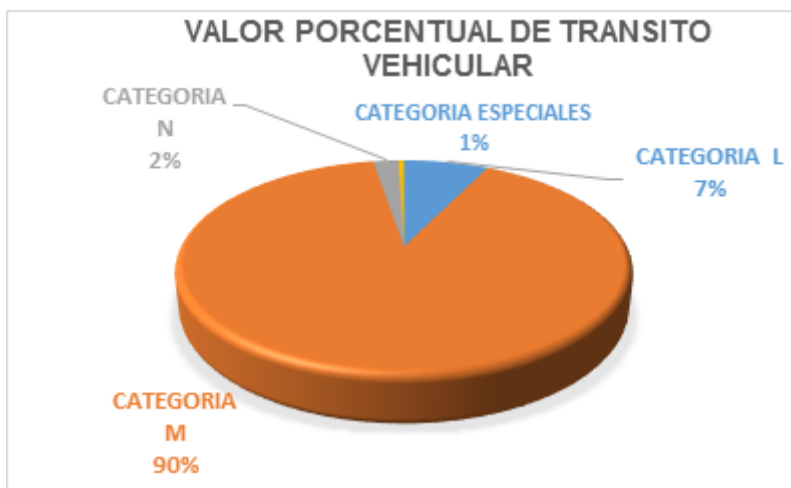


Figura 4 Valor Porcentual de Tránsito

ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE LA VELOCIDAD PROMEDIA VEHICULAR:

Como podemos observar en la Tabla 11 y la Figura 5 los vehículos que circulan a mayor velocidad por el área de estudio son lo de la Categoría Especial con una velocidad promedio de 9,59 km/h, seguido por la Categoría N con una velocidad promedio de 7,92 km/h y finalmente los de Categoría M y L son una velocidad promedio de 7,48 km/h y 7,38 km/h respectivamente.

Estas velocidades no permanecen constantes a lo largo de los 0.41 km que abarca el área de estudio, debido a que los vehículos pasan una gran parte del tiempo detenidos, causado por la congestión de la vía. Por lo tanto, la velocidad única vehicular de recorrido (V_{ur}) en el área de estudio es de 7,49 km/hora.

Tabla 11 Velocidad Vehicular Promedio

CATEGORÍAS	V_{pro}
Categoría L	7.38
Categoría M	7.48
Categoría N	7.92
Categoría Especiales	9.59

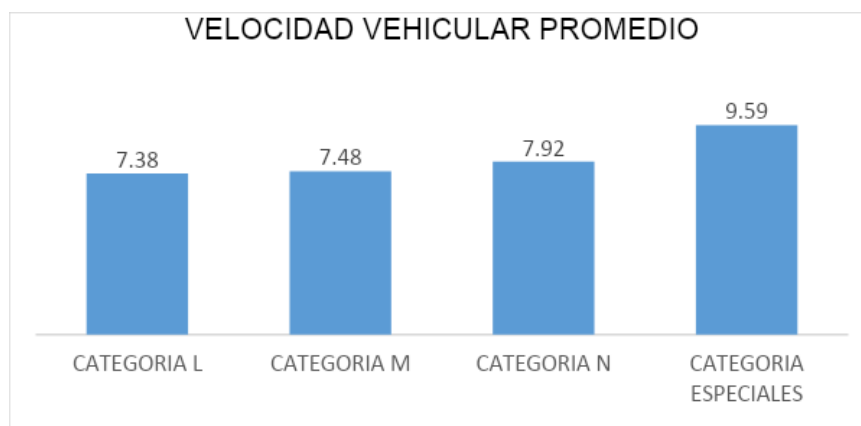


Figura 5 Velocidad Vehicular Promedio

Estos resultados obtenidos se asemejan al estudio realizado por Saavedra, J (2014) donde su velocidad en el área estudio alcanzó una velocidad promedio de 17.0 km/hora, seguidos de los camiones y los vehículos livianos con 8.5 km/hora y finalmente los buses con 7.7 km/hora. Como velocidad única vehicular de recorrido (V_{ur}) se obtuvo 8.7 km/hora. Donde las velocidades vehiculares son menores a 10 km/hora debido al tráfico **(Ver Anexo 9)**.

ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE EMISIONES CONTAMINANTES:

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la estimación de emisiones vehiculares. Los resultados se calcularon en kilogramos por día.

Cálculo de emisiones en caliente

Como se observa en la Tabla 12, la Categoría M (taxis, combis, bus) tienen mayor cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera con un valor de 3280.82 kg/día del cual el CO aporta con un 96 %. Esto se debe a la gran presencia de estos tipos de vehículos en el área de estudio.

En segundo lugar están los motocarros y motos lineales que pertenecen a la Categoría L emitiendo 113.8 kg/día de contaminantes a la atmósferas originado por los combustibles alternos que usan, en cambio los de Categoría N y Categoría especiales tienen una

participación de 25.09 kg/día y 12.03 kg/día debido a su poca participación durante las horas de congestión vehicular.

Tabla 12 Emisiones En Caliente (Tubo De Escape)

CATEGORÍAS	CO	NOx	HC	TOTAL	CO (%)	NOx (%)	HC (%)
Categoría L	79.71	31.15	2.32	113.18	70.43	27.52	2.05
Categoría M	3149.56	87.91	43.35	3280.82	96.00	2.68	1.32
Categoría N	11.45	13.25	0.40	25.09	45.62	52.80	1.58
Categoría Especiales	2.43	9.43	0.17	12.03	20.21	78.35	1.44
E. CALIENTE	3243.15	141.72	46.24	3431.12	94.52	4.13	1.35

El total de emisiones en caliente provenientes de los tubos de escape es 3431.12 kg/día.

El mayor porcentaje está dado por el monóxido de carbono (CO) con un 95%, el 4% por los óxidos de nitrógeno (NOx) y un 1% por los hidrocarburos no quemados (HC).

Los resultados obtenidos coinciden con lo publicado por el Ministerio de salud en los últimos años donde indica que el carbono es el principal contaminante del aire.

De forma similar señala Tello,J.(2019) en su investigación donde su población vehicular fue conformada por 961 mototaxis y la cantidad de contaminantes atmosféricos emitidos por estos vehículos fue de 198192.15 g.día-1, distribuidos en (CO, VOC, NO_x, SO_x) (**Ver Anexo 13**).

Así también Urgilés,P,(2019) indica que los contaminantes con mayores resultados obtenidos con el cálculo del IVE son los de composición de CO₂ donde a mayor presencia de vehículos mayor será las emisiones a la atmósfera (**Ver Anexo 14**).

Cálculo emisiones evaporativas

En este cálculo se consideraron las emisiones emitidas por los vehículos gasolineros, que aportan un valor significativo a las emisiones ,estas emisiones son los hidrocarburos evaporados del combustible.

Como los valores son muy bajos lo contabilizaremos en Kg/año.

PETRO PERÚ en sus especificaciones técnicas de la gasolina indica el valor para la presión de vapor Reid (PVR) (**Ver Anexo 8**), este dato es necesario para este cálculo.

Tabla 13 Emisiones Evaporativas En Circulación

CATEGORÍAS	Eevap kg/año	(%)
Categoría L	15.73	7.29
Categoría M	194.38	90.05
Categoría N	4.74	2.20
Categoría Especiales	1.01	0.47
Eevap RLk	215.86	100.00

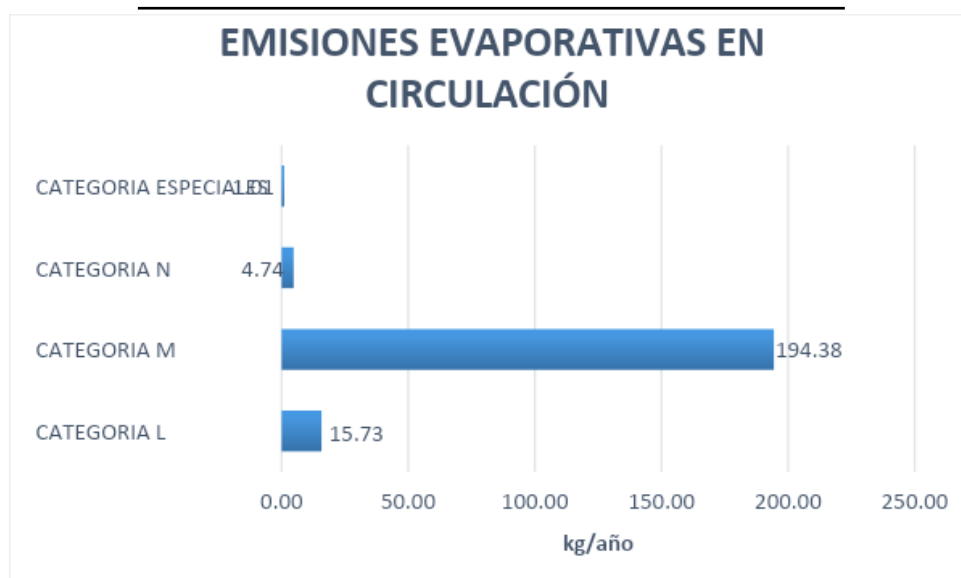


Figura 6 Emisiones Evaporativas en Circulación

Podemos apreciar en la Tabla 13 y Figura 6, que los vehículos de Categoría M son los causantes de la mayor cantidad de hidrocarburos evaporados, con una estimación aproximada de 194,38 kg/año. Debido a que en su mayoría estos vehículos utilizan la gasolina como fuente de energía. Luego le siguen los de Categoría L con un valor estimado de 15,73 kg/año Por último se encuentran los de Categoría N y especiales con valores aproximados de 4,74 kg/año y 1,01 kg/año respectivamente.

Obteniendo un total aproximado de hidrocarburos evaporados de 215,86 kg/año generados por los vehículos gasolineros que se movilizan por el flujo vehicular del área de estudio..

Señala García,C.(2019) en sus resultados de “Emisiones vehiculares Internacionales” realizado con la metodología (IVE). Que los mayores emisores de CO y COV son taxis,colectivos (41,9% y 29,1%) y mototaxis (17,7% y 33%) que en nuestro país pertenecen a la categoría M y L respectivamente,mientras que las emisiones de NO_x y PM son originadas por camiones (46% y 88,3%) los cuales pertenecen a la categoría N en nuestro país. Lo cual se asemeja a los resultados obtenidos por el estudio.

Cálculo de emisiones por desgaste de neumáticos

Los resultados de estas emisiones guardan relación directa de acuerdo a la cantidad de neumáticos que posee el vehículo,al número de vehículos que transitan y a su recorrido.Las emisiones por desgaste de neumáticos son los PTS (partículas totales suspendidas) entre ellas tenemos: PM10, PM2.5, PM1 y PM0.1.

Para el caso de los camiones pesados, considerando un factor de carga de 0.5 con 2 ejes y tomando en cuenta que parcialmente están llenos durante la hora de congestión vehicular.

Para el Tramo 1 de 0.4 kilómetros de recorrido, los taxis, combis y buses (Categoría M) son los que generan una mayor cantidad de contaminantes, emitiendo aproximadamente 24,52 kg/año, seguido por los de Categoría N emitiendo 0.89 kg/año, finalmente con valores inferiores están los de Categoría L y Especiales con valores de estimación de 0.85 kg/año y 0.27 kg/año aproximadamente.(Ver Figura 7)

Tabla 14 Emisiones provenientes del desgaste de neumáticos

CATEGORÍAS	PTS	PM10	PM2.5	PM1	PM0.1	Total E _{neu}	PTS (%)	PM10 (%)	PM2. 5 (%)	PM 1 (%)	PM0. 1 (%)
Categoría L	0.40	0.24	0.17	0.02	0.02	0.85	46.99	28.20	19.74	2.82	2.26
Categoría M	11.52	6.91	4.84	0.69	0.55	24.52	46.99	28.20	19.74	2.82	2.26
Categoría N	0.42	0.25	0.18	0.03	0.02	0.89	46.99	28.20	19.74	2.82	2.26
Categoría Especiales	0.13	0.08	0.05	0.01	0.01	0.27	46.99	28.20	19.74	2.82	2.26
TOTAL	12.47	7.48	5.24	0.75	0.60	26.54	46.99	28.20	19.74	2.82	2.26

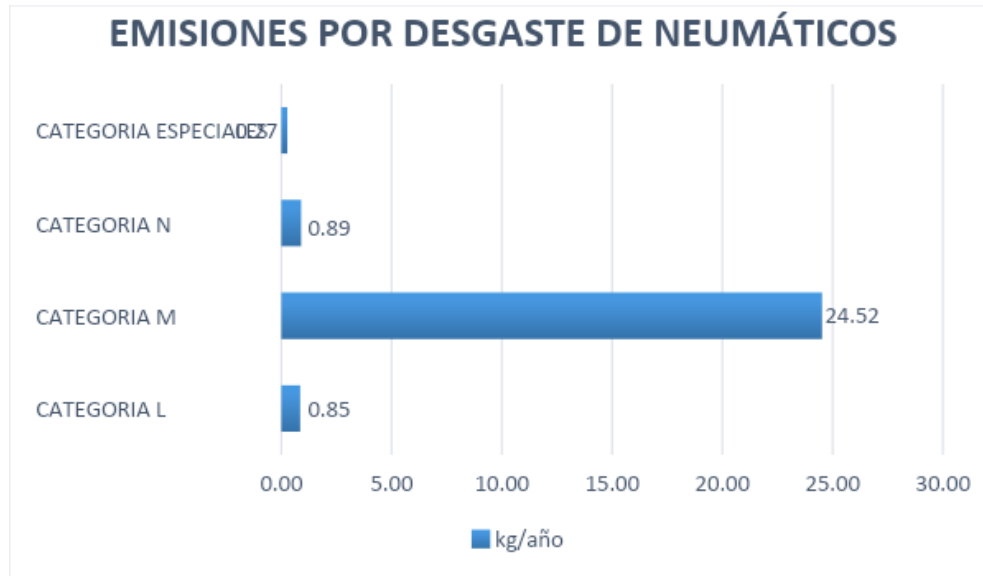


Figura 7 Emisiones por desgaste de neumáticos

Para las partículas totales suspendidas, se obtuvo como valor de estimación mayor de 12,47 kg/año correspondiente a PTS.

En las partículas suspendidas menores a 10 micras (PM10) se obtuvo un valor de emisión de 7,48 kg/año, en partículas menores a 2.5 micras (PM2.5) con un valor aproximado de 5.24 kg/año y para las partículas menores a 1 y 0.1 micras (PM1 y PM0.1) se alcanzó un valor aproximado de 0.75 kg/año y 0.60 kg/año respectivamente. Estos datos pueden ser comparados por el estudio realizado en la ciudad de Lima, por Saavedra, J. (2014) (Ver Anexo 10).

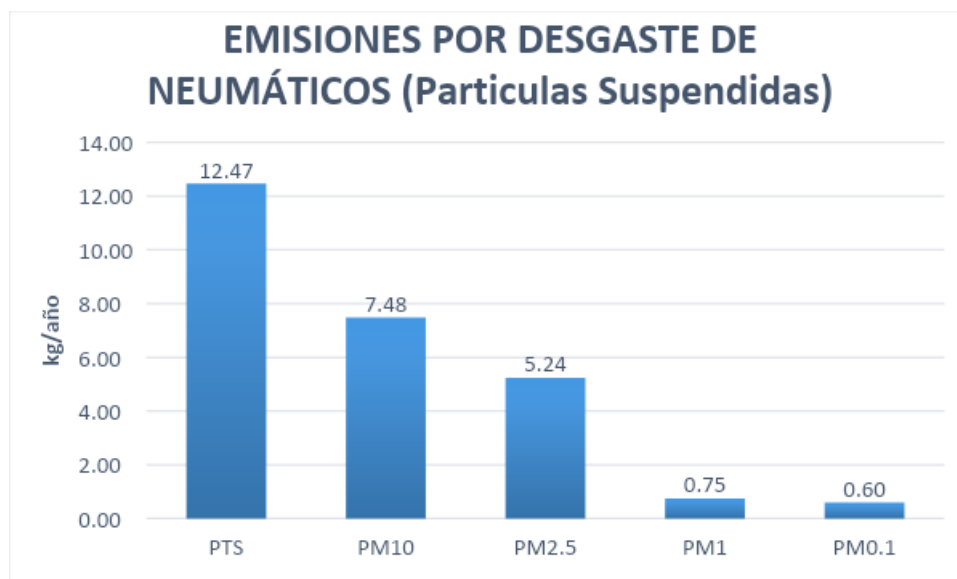


Figura 8 Emisiones PTS y partículas suspendidas.

Cálculo de emisiones por desgaste de frenos

Las emisiones por desgaste de frenos se calculan de manera similar a las emisiones por desgaste de neumáticos, considerando los (PTS) generados, las partículas suspendidas como: PM10, PM2.5, PM1 y PM0.1.

De tal manera se usó el mismo valor de factor de carga 0,5.

En la Figura 9, los taxis, combis y buses (Categoría M) son principales generadores de PTS con un valor estimado de 24,74 kg/año aproximadamente seguidos por los vehículos de Categoría L con emisión de 0,99 kg/año. Con estimaciones similares le siguen los vehículos de Categoría N y Especiales con emisiones aproximadas de 0,94 kg/año y 0,56 kg/año respectivamente siendo este último el de menor valor estimado en desgaste de frenos.

Tabla 15 Emisiones provenientes del desgaste de frenos

CATEGORÍAS	PTS	PM10	PM2.5	PM1	PM0.1	Total Efre	PTS (%)	PM10 (%)	PM2.5 (%)	PM1 (%)	PM0.1 (%)
Categoría L	0.39	0.38	0.15	0.04	0.03	0.99	39.22	38.43	15.29	3.92	3.14
Categoría M	9.70	9.51	3.78	0.97	0.78	24.74	39.22	38.43	15.29	3.92	3.14
Categoría N	0.37	0.36	0.14	0.04	0.03	0.94	39.22	38.43	15.29	3.92	3.14
Categoría Especiales	0.22	0.22	0.09	0.02	0.02	0.56	39.22	38.43	15.29	3.92	3.14
TOTAL	10.68	10.47	4.17	1.07	0.85	27.23	39.22	38.43	15.29	3.92	3.14

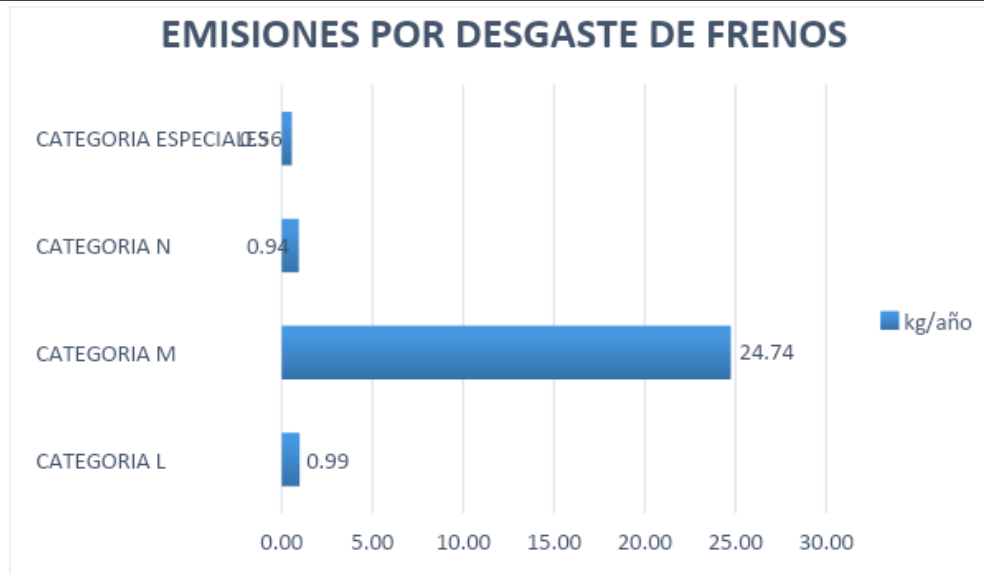


Figura 9 Emisiones por desgaste de Frenos

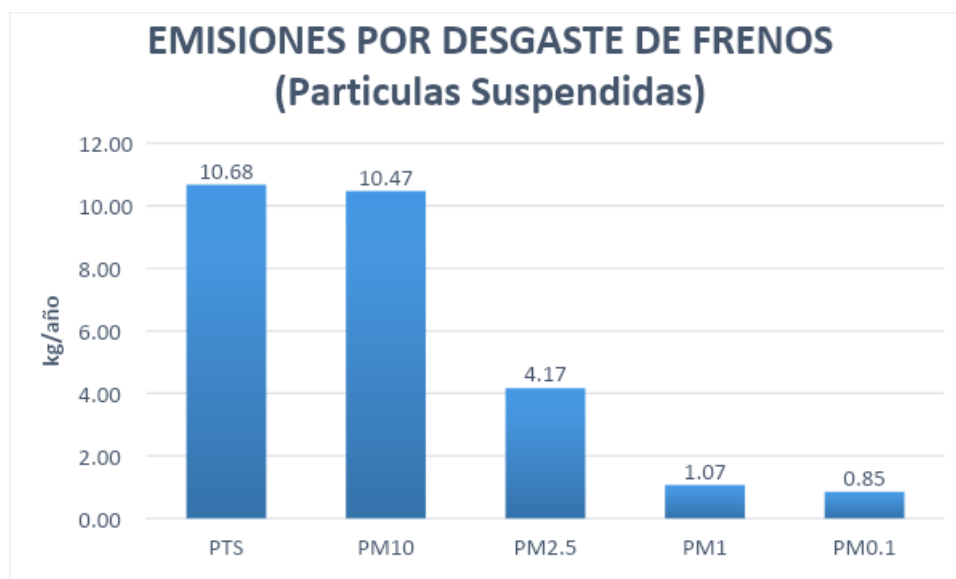


Figura 10 Emisiones por desgaste de Frenos "partículas Suspendidas"

Podemos apreciar en la Figura 10, los valores generados por partículas totales suspendidas siendo este el de mayor estimación de emisión con 10,68 kg/año. Para las otras partículas PM10 se generó un valor de 10.47 kg/año, PM 2.5 un valor aproximado de 4,17 kg/año, los PM1 con un valor de 1.07 kg/año y los PM 0.1 con emisión de 0,85 kg/año.

Considerando los años de diferencias entre estudios las emisiones de partículas suspendidas por desgaste de frenos y neumáticos, no se alejan mucho a los datos obtenidos por Saavedra, J (2014) donde obtuvo emisiones de partículas suspendidas por desgaste de frenos de 6,54 kg/año y un total de 15.04 kg/año de contaminantes correspondientes a partículas suspendidas provenientes del desgaste de los frenos (**Ver Anexo 11**).

Cálculo de emisiones totales

El cálculo de las emisiones totales de los vehículos que transitan durante las 6:30 y 7:30 pm, será el resultado de la suma de las emisiones calculadas con anterioridad: emisiones en caliente, emisiones evaporativas en la circulación y emisiones provenientes del desgaste de frenos y neumáticos. Ver Figura 11.

Se puede apreciar, que los vehículos pertenecientes a la Categoría M son los que poseen una mayor cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera, alcanzando un valor

aproximado de 3524,46 kg/año, seguidos los vehículos de Categoría L con un valor aproximado de 130.75 kg/año. Los de categoría N y Especiales son los de menor emisión de contaminantes a la atmósfera con valores aproximados de 31,67 kg/año y 13,86 kg/año respectivamente.

Se obtuvo como resultado un total de 3700,74 kg/año material particulado y gases emitidos a la atmósfera en el área de estudio a la hora del flujo vehicular.

Tabla 16 Emisión total de contaminantes

CATEGORÍAS	Ecaliente	Eevaporativa	Edegaste	ETOTAL	Eca (%)	Eeva (%)	Edes (%)
Categoría L	113.18	15.73	1.84	130.75	86.56	12.03	1.41
Categoría M	3280.82	194.38	49.27	3524.46	93.09	5.52	1.40
Categoría N	25.09	4.74	1.84	31.67	79.22	14.98	5.80
Categoría Especiales	12.03	1.01	0.83	13.86	86.77	7.27	5.96

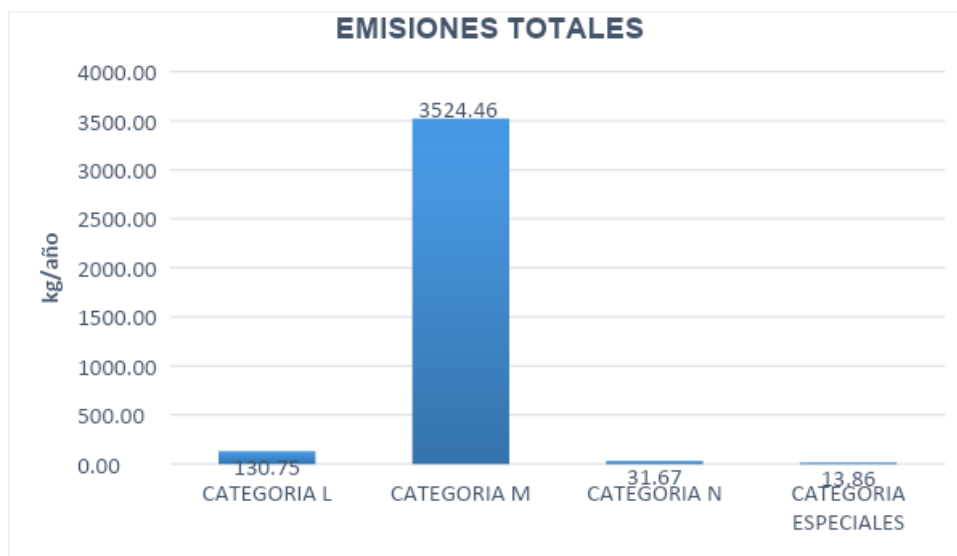


Figura 11 Emisiones Totales

Valencia,D. (2015) expresa que la aplicación metodológica para las emisiones totales es de forma sencilla y que dichas emisiones dependen de las características de los vehículos estudiados, como se observa en su estudio (Ver Anexo 15).

TRAMO 2: OVALO RAMÓN CASTILLA – AV. EL SOL /AV. EL EJÉRCITO**OBTENCIÓN DE DATOS DEL TRÁFICO VEHICULAR:**

Como se puede observar en la Tabla 17, Figuras 12 y 13, los vehículos que más circulan por el área de estudio y en el periodo de tiempo determinado son los vehículos de la Categoría M con un valor promedio de 5765 unidades abarcando el 75 % del total de vehículos. Seguido por la Categoría L con un 1406 unidades con un valor del 18% , los vehículos de Categoría N con 446 unidades y un 6% por último los de Categoría Especiales con 56 unidades y 1% del total de vehículos en circulación.

Tabla 17 Tránsito vehicular promedio

CATEGORÍAS	CVP	%
Categoría L	1406	18.3
Categoría M	5765	75.1
Categoría N	446	5.8
Categoría Especiales	56	0.7
TOTAL	7672	100.0

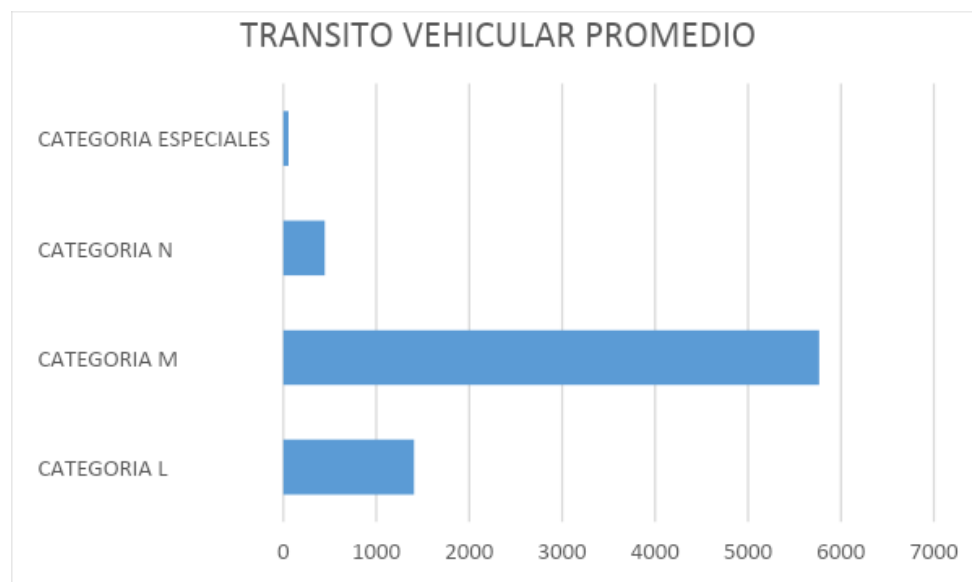


Figura 12 Tránsito vehicular promedio

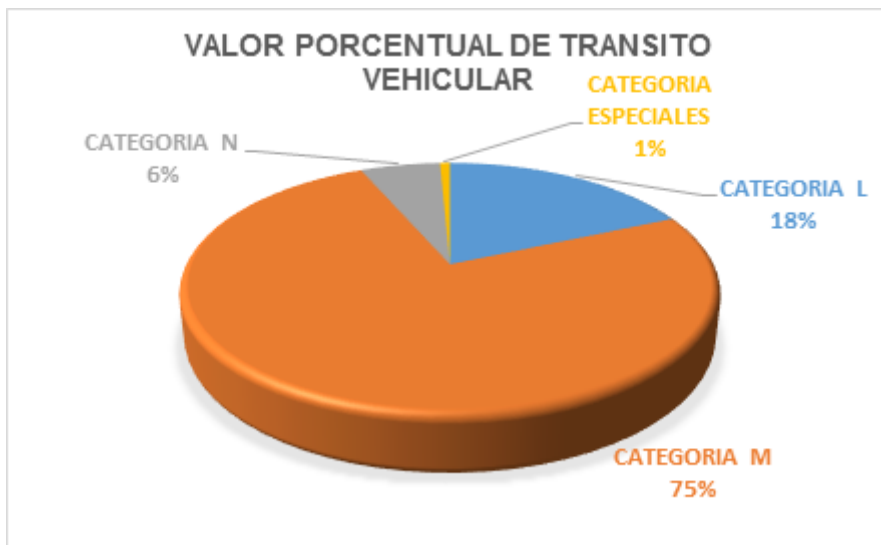


Figura 13 Valor porcentual de tránsito vehicular

La intensidad vehicular es de 7672 vehículos en un promedio de una hora.

ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE LA VELOCIDAD PROMEDIA VEHICULAR:

Como podemos observar en la Tabla 18 y la Figura 14 los vehículos que circulan a mayor velocidad por el área de estudio son lo de la Categoría M con una velocidad promedio de 17,63 km/h, seguido por la Categoría Especiales con una velocidad promedio de 17,51 km/h y finalmente los de Categoría N y L son una velocidad promedio de 14,42 km/h y 13,81 km/h respectivamente.

Estas velocidades no permanecen constantes a lo largo de los 1,5 km que abarca el área de estudio, ya que los vehículos pasan mayormente detenidos debido a la congestión. Por lo tanto, la velocidad única vehicular de recorrido (V_{ur}) en el área de estudio es de 16,74 km/hora.

Tabla 18 Velocidad vehicular promedio

CATEGORÍAS	V_{pro}
Categoría L	13.81
Categoría M	17.63
Categoría N	14.42
Categoría Especiales	17.51

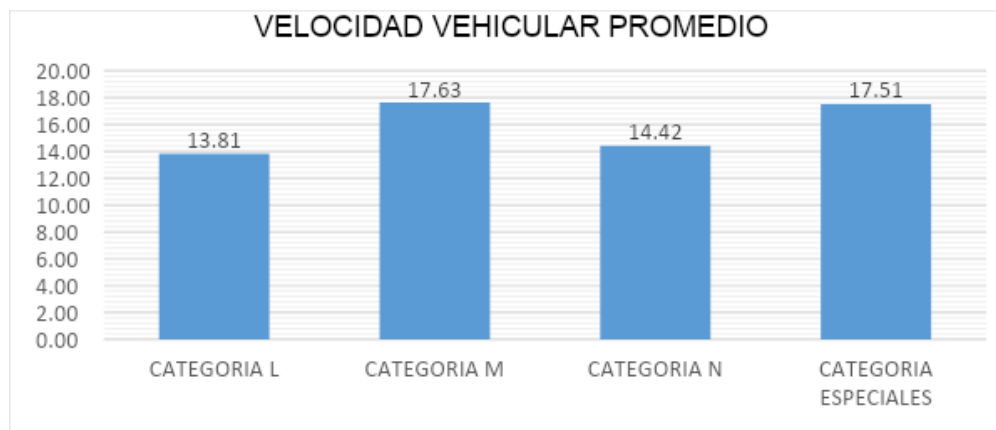


Figura 14 Velocidad vehicular promedio

ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES:

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la estimación de emisiones vehiculares. Los resultados se calcularon en kilogramos por día.

Cálculo de emisiones en caliente

Como se observa en la Tabla 19, la Categoría M (taxis, combis, bus) tienen mayor cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera con un valor de 9896,54 kg/día del cual el CO aporta con un 95 %. Esto se debe a la gran presencia de estos tipos de vehículos en el área de estudio.

En segundo lugar están los motocarros y motos lineales que pertenecen a la Categoría L emitiendo 1906,17 kg/día de contaminantes a la atmósferas originado por los combustibles alternos que usan, en cambio los de Categoría N y Categoría Especiales tienen una participación de 177,78 kg/día y 55,40 kg/ debido a su poca participación durante las horas de congestión vehicular.

Tabla 19 Emisiones En Caliente (Tubo De Escape)

CATEGORÍAS	CO	NOx	HC	TOTAL	CO (%)	NOx (%)	HC (%)
Categoría L	1047.70	850.88	7.59	1906.17	54.96	44.64	0.40
Categoría M	9425.10	433.80	37.64	9896.54	95.24	4.38	0.38
Categoría N	84.47	91.94	1.36	177.78	47.52	51.72	0.77
Categoría Especiales	10.52	44.53	0.35	55.40	18.99	80.37	0.63
E.CALIENTE	10567.81	1421.15	46.94	12035.89	87.80	11.81	0.39

El total de emisiones en caliente provenientes de los tubos de escape es 12035,89 kg/día.

El 88% corresponde al monóxido de carbono (CO), el 12% a los óxidos de nitrógeno (NOx) y un menor porcentaje de 0,4% por los hidrocarburos no quemados (HC). Los resultados obtenidos coinciden con lo publicado por el Ministerio de salud en los últimos años donde indica que el carbono es el principal contaminante del aire.

En la investigación realizada por Tello, J. (2019) (**Ver Anexo 13**) apreciamos que el mayor contaminante emitido a la atmósfera proviene del CO, aportando con un valor de 153072 g/día. De forma similar obtuvimos un mayor valor del 88% originado por el CO, quién es el principal causante de la contaminación atmosférica.

Cálculo emisiones Evaporativas

En el cálculo están consideradas las emisiones por vehículos gasolineros (hidrocarburos).

Como los valores son muy bajos lo contabilizaremos en Kg/año.

El valor de vapor Reid (PVR) de la gasolina está determinado en las especificaciones técnicas de PETROPERÚ (**Ver Anexo 8**), dato primordial para este cálculo.

Tabla 20 Emisiones Evaporativas en Circulación

CATEGORÍAS	Eevap kg/año	(%)
Categoría L	193.13	18.33
Categoría M	791.89	75.14
Categoría N	61.19	5.81
Categoría Especiales	7.62	0.72
Eevap RLk	1053.84	100.00

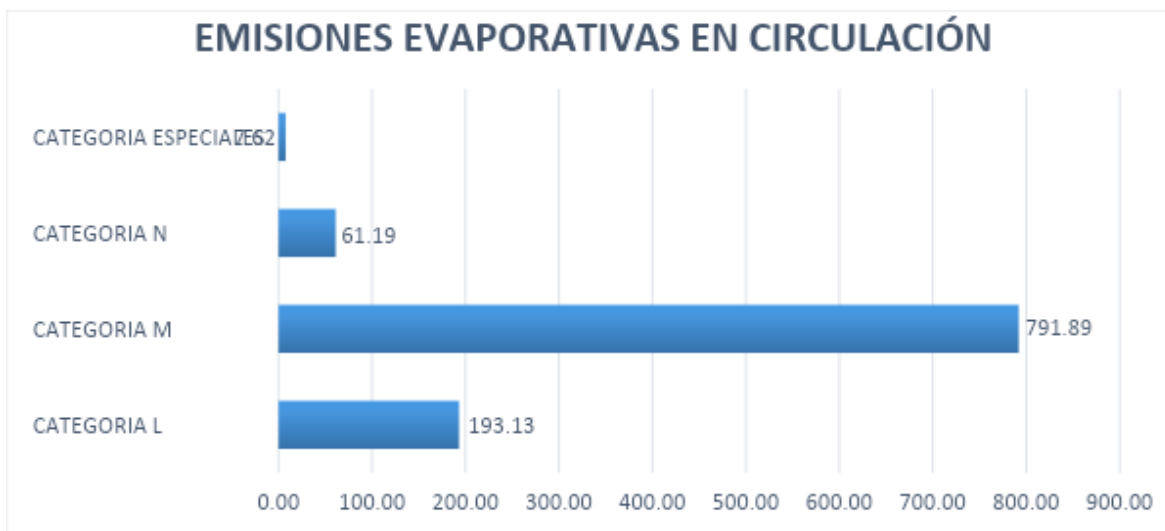


Figura 15 Emisiones Evaporativas en Circulación

Podemos apreciar en la Tabla 20 y Figura 15, que los vehículos de Categoría M son los causantes de la mayor cantidad de hidrocarburos evaporados, con una estimación aproximada de 791,89 kg/año. Debido a que en su mayoría estos vehículos utilizan la gasolina como fuente de energía. Luego le siguen los de Categoría L con un valor estimado de 193,13 kg/año. Por último se encuentran los de Categoría N y especiales con valores aproximados de 61,19 kg/año y 7,62 kg/año respectivamente.

Se obtuvo un total de hidrocarburos aproximado de 1053,84 kg/año generados por los vehículos gasolineros que se movilizan por el área de estudio.

Cálculo de emisiones por desgaste de neumáticos

Estas emisiones corresponden a los PTS y partículas suspendidas como: PM10, PM2.5, PM1 y PM0.1

Para el caso de los camiones pesados, considerando un factor de carga de 0.5 con 2 ejes y tomando en cuenta que parcialmente están llenos durante la hora de congestión vehicular.

Para el Tramo 2 de 1.5 kilómetros de recorrido, los taxis, combis y buses (Categoría M) son los que generan una mayor cantidad de contaminantes, emitiendo aproximadamente 99,90 kg/año, seguido por los de Categoría N emitiendo 11,54 kg/año, finalmente con

valores inferiores están los de Categoría L y Especiales con valores de estimación de 10.47 kg/año y 2.02 kg/año aproximadamente.(Ver Tabla 21 y Figura 16)

Tabla 21 Emisiones provenientes del desgaste de neumáticos

CATEGORÍAS	PTS	PM10	PM2.5	PM1	PM0.1	Total E _{neu}	PTS (%)	PM10 (%)	PM2.5 (%)	PM1 (%)	PM0.1 (%)
Categoría L	4.92	2.95	2.07	0.30	0.24	10.47	46.99	28.20	19.74	2.82	2.26
Categoría M	46.94	28.17	19.72	2.82	2.25	99.90	46.99	28.20	19.74	2.82	2.26
Categoría N	5.42	3.25	2.28	0.33	0.26	11.54	46.99	28.20	19.74	2.82	2.26
Categoría Especiales	0.95	0.57	0.40	0.06	0.05	2.02	46.99	28.20	19.74	2.82	2.26
TOTAL	58.24	34.94	24.46	3.49	2.80	123.93	46.99	28.20	19.74	2.82	2.26

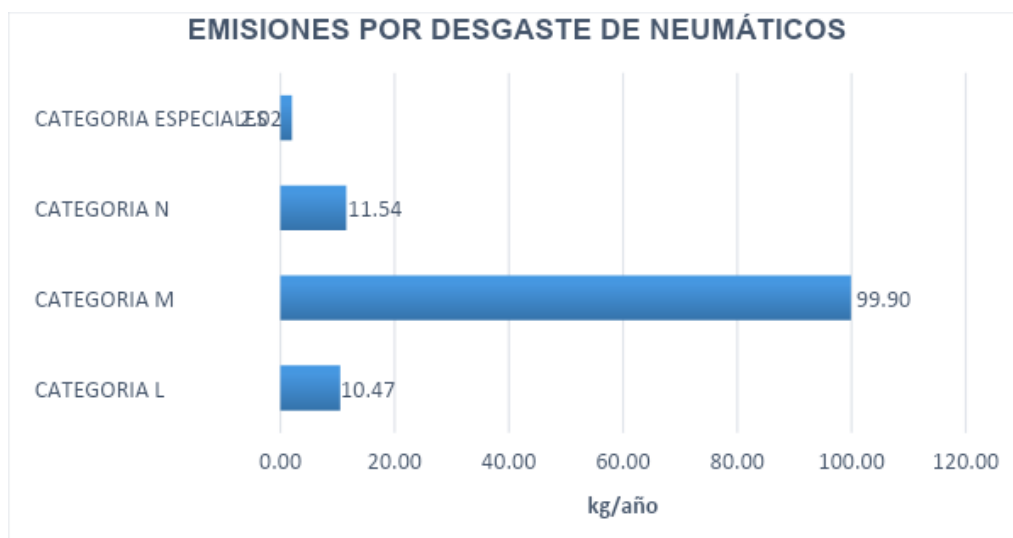


Figura 16 Emisiones provenientes del desgaste de neumáticos

Para las partículas totales suspendidas, se obtuvo como valor de estimación mayor de 58,24 kg/año correspondiente a PTS.

Las partículas suspendidas por desgaste de los neumáticos menor a 10 micras (PM10) obtuvo un valor de 34,94 kg/año, en partículas menores a 2.5 micras (PM2.5) con aproximado de 24,46 kg/año y con las partículas menores a 1 y 0.1 micras (PM1 y PM0.1) se alcanzó 3,49 kg/año y 2,80 kg/año .

De la misma forma que en el Tramo 1 estos datos pueden ser comparados con los obtenidos en el estudio de Saavedra, J. (2014)(Ver Anexo 10).

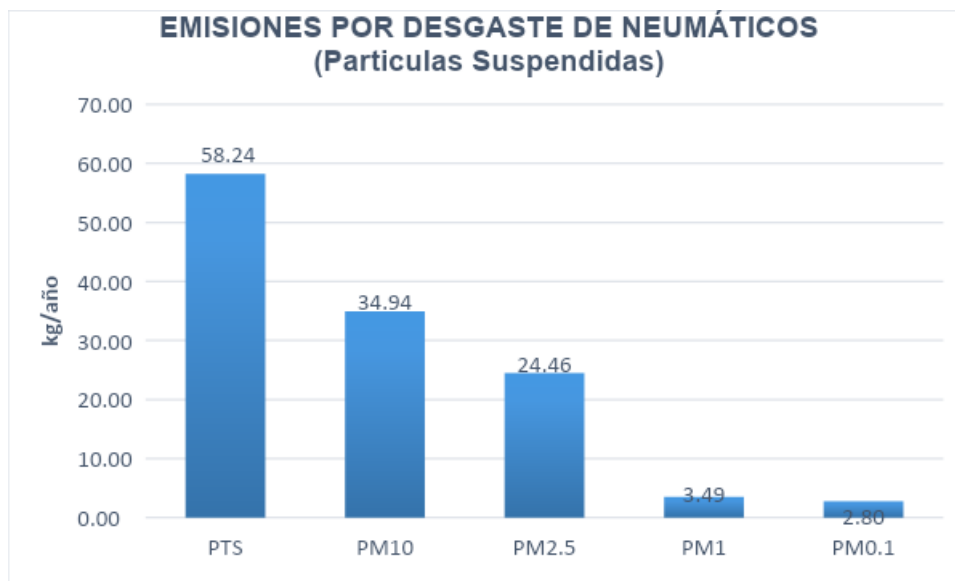


Figura 17 Emisiones PTS y partículas suspendidas.

Cálculo de emisiones por desgaste de frenos

Las emisiones por desgaste de frenos se calcularon de manera similar al desgaste de neumáticos de acuerdo a las partículas totales y suspendidas como: PM10, PM2.5, PM1 y PM0.1.

De la misma forma que el tramo 1 se usó el mismo valor de factor de carga 0,5.

En la Figura 18, los taxis, combis y buses (Categoría M) son principales generadores de PTS con un valor estimado de 100,81 kg/año aproximadamente seguidos por los vehículos de Categoría N con emisión de 12,15 kg/año. Con estimación similar le siguen los vehículos de Categoría L con emisión aproximada de 12,13 kg/año y por último los de Categoría Especiales con emisiones aproximadas de 4,24 kg/año.

Tabla 22 Emisiones provenientes del desgaste de frenos

CATEGORÍAS	PTS	PM10	PM2.5	PM1	PM0.1	Total Efre	PTS (%)	PM10 (%)	PM2.5 (%)	PM1 (%)	PM0.1 (%)
Categoría L	4.76	4.66	1.86	0.48	0.38	12.13	39.22	38.43	15.29	3.92	3.14
Categoría M	39.53	38.74	15.42	3.95	3.16	100.81	39.22	38.43	15.29	3.92	3.14
Categoría N	4.77	4.67	1.86	0.48	0.38	12.15	39.22	38.43	15.29	3.92	3.14
Categoría Especiales	1.66	1.63	0.65	0.17	0.13	4.24	39.22	38.43	15.29	3.92	3.14
TOTAL	50.72	49.70	19.78	5.07	4.06	129.33	39.22	38.43	15.29	3.92	3.14

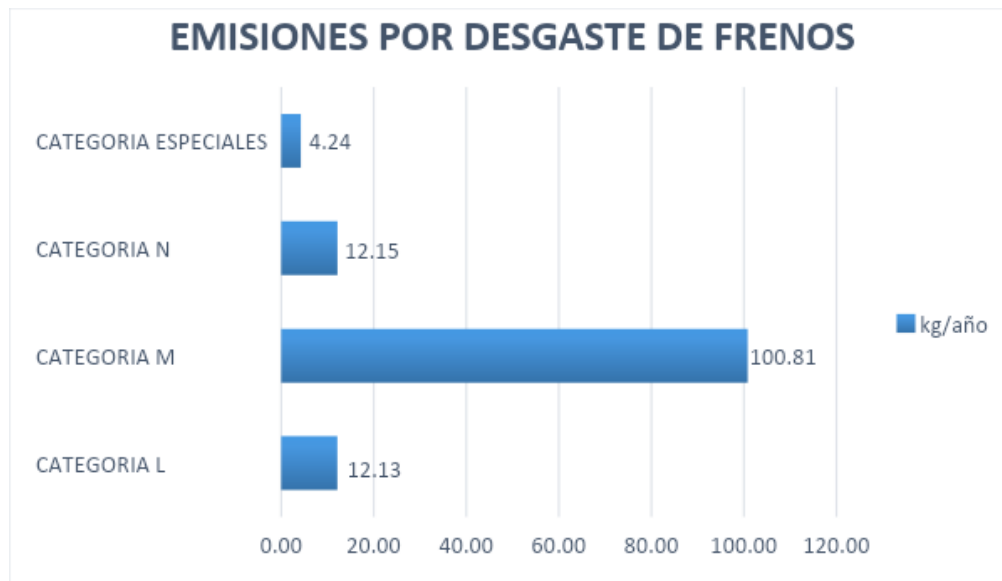


Figura 18 Emisiones por desgaste de frenos

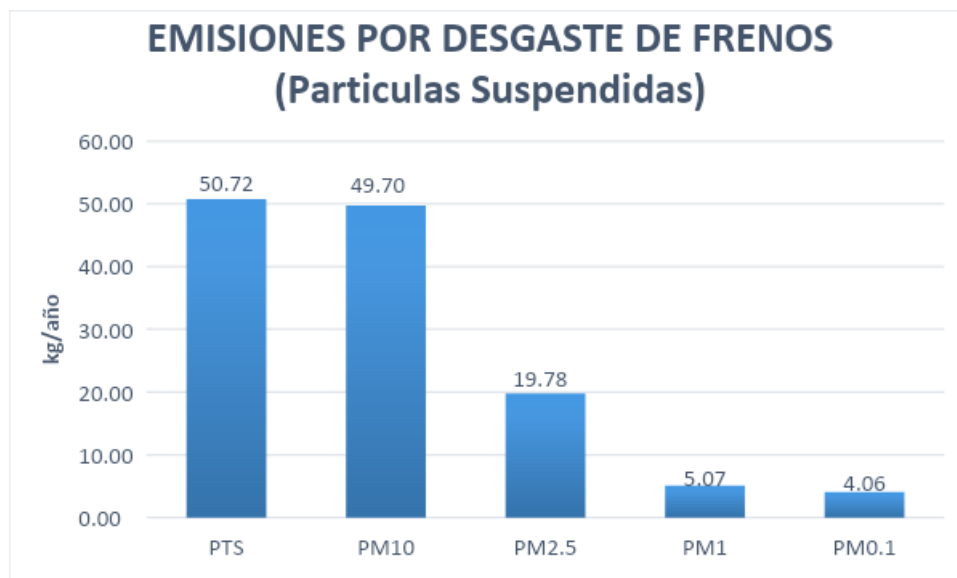


Figura 19 Emisiones por desgaste de frenos "Partículas Suspendidas"

Podemos apreciar en la Figura 19, los valores generados por partículas totales suspendidas siendo este el de mayor estimación de emisión con 50,72 kg/año. Para las otras partículas PM10 se generó un valor de 49,70 kg/año, PM 2.5 un valor aproximado de 19,78 kg/año, los PM1 con un valor de 5.07 kg/año y los PM 0.1 con emisión de 4,06 kg/año.

Comparando nuestros resultados con los datos de Saavedra,J.(2014) (**Ver Anexo 11**) apreciamos que no son tan lejanos,debido a que el Tramo 2 es de mayor longitud que el Tramo 1.

Cálculo de emisiones totales

El cálculo de las emisiones totales de los vehículos que se movilizan durante la 1:00 y 2:00 pm es el resultado de la suma de las emisiones antes calculadas:emisiones en caliente, emisiones evaporativas en la circulación y emisiones provenientes del desgaste de frenos y neumáticos.Ver la Figura 20.

Se puede apreciar, que los vehículos pertenecientes a la Categoría M son los que poseen una mayor cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera, alcanzando un valor aproximado de 10.889,14 kg/año, seguidos los vehículos de Categoría L con un valor aproximado de 2.121,91 kg/año. Los de categoría N y Especiales son los de menor emisión de contaminantes a la atmósfera con valores aproximados de 262,67 kg/año y 69,28 kg/año respectivamente.

Se obtuvo como resultado un valor total de 13.343 kg/año de material particulado y gases emitidos a la atmósfera en el área de estudio a la hora del flujo vehicular.

Tabla 23 Emisión Total de Contaminantes

CATEGORÍAS	Ecaliente	Eevaporativa	Edesgaste	ETOTAL	Eca (%)	Eeva (%)	Edes (%)
Categoría L	1906.17	193.13	22.60	2121.91	89.83	9.10	1.07
Categoría M	9896.54	791.89	200.71	10889.14	90.88	7.27	1.84
Categoría N	177.78	61.19	23.70	262.67	67.68	23.30	9.02
Categoría Especiales	55.40	7.62	6.26	69.28	79.97	11.00	9.03

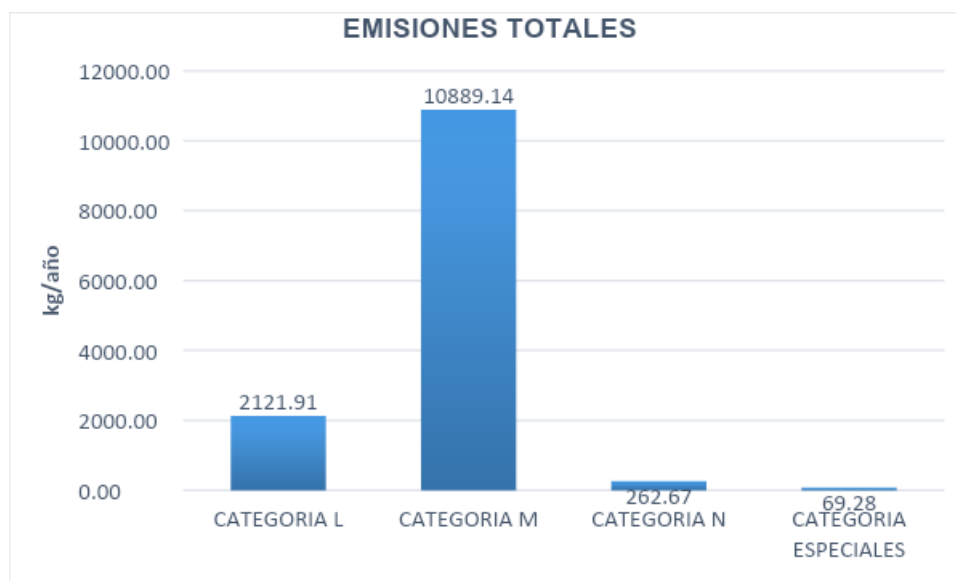


Figura 20 Emisiones Totales

Los resultados obtenidos en el estudio podemos compararlo fácilmente con los datos de estudio de los autores Saavedra,J. (2014) y Tello.J. (2019) para su aprobación y eficacia.

4.3 EFECTOS SIGNIFICATIVOS EN LAS PERSONAS CON CONTACTO DIRECTO EN EL ÁREA DE CONGESTIÓN VEHICULAR

Con los datos obtenidos de las emisiones atmosféricas contaminantes se observa que el CO (Monóxido de carbono) es el que tiene más incidencia con los efectos de salud, ocasionando malestares por la inhalación y posteriormente con la penetración en la sangre. Lo que se concluye es que estas emisiones contaminantes son perjudiciales para la salud humana. Acarreando problemas respiratorios futuros. Como señala Roman,M. (2017) es un contaminante muy peligroso causante de la reducción de transporte de oxígeno en la sangre.

4.4 PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.4.1 Hipótesis específica 1

Planteamiento:

H0: Los valores de las emisiones de contaminantes atmosféricos determinados por el método MÓDEM (2010), en las zonas con mayor flujo vehicular de la ciudad de Puno, son confiables.

H1: Los valores de las emisiones de contaminantes atmosféricos determinados por el método MÓDEM (2010), en las zonas con mayor flujo vehicular de la ciudad de Puno, no son confiables.

Estadístico de prueba:

La prueba Chi cuadrada nos permite determinar si los valores obtenidos por la metodología MODEM de las emisiones de contaminantes atmosféricos, en las zonas con mayor flujo vehicular de la ciudad de Puno, son confiables.

Nivel de confianza:

El nivel de confianza del estadístico de prueba es de 95% ($\alpha=0.05$).

Resultados:

(X²)Calculado **421.04**

(X²)Critico **7.81**

Probabilidad: **0.05**

Grado de Libertad: **3.00**

Nivel de significancia es de 95% ($\alpha=0.05$)

Interpretación:

Puesto que el valor de x^2 calculado=421.04 es mayor al valor de x^2 crítico =7.81, se acepta la hipótesis planteada para este objetivo, es decir: Los valores de las emisiones de contaminantes atmosféricos determinados por el método MÓDEM (2010), en las zonas con mayor flujo vehicular de la ciudad de Puno, son confiables. Indicando así a mayor generación de emisiones más grande es el efecto en la atmósfera.

4.4.2 Hipótesis específica 2

Planteamiento:

H0: Las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por el constante tráfico vehicular, afectan a la salud de las personas en las áreas de influencia directa de estudio.

H1: Las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por el constante tráfico vehicular, no afectan a la salud de las personas en las áreas de influencia directa de estudio.

Estadístico de prueba:

La prueba Chi cuadrada nos permite determinar si las emisiones atmosféricas generadas por el parque automotor, afectan a la salud de las personas.

Nivel de confianza:

El nivel de confianza del estadístico de prueba es de 95% ($\alpha=0.05$).

Resultados:

(X²)Calculado	0.49
(X²)Crítico	3.84
Probabilidad:	0.05
Grado de Libertad:	1.00

Nivel de significancia es de 95% ($\alpha=0.05$)

Interpretación:

Puesto que el valor de x^2 calculado=0.49 es menor al valor de x^2 crítico =3.84, se acepta la hipótesis planteada para este objetivo, es decir: Las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por el constante tráfico vehicular, afectan a la salud de las personas en las áreas de influencia directa de estudio.

CONCLUSIONES

PRIMERA: El método MODEM usado para la estimación de emisiones contaminantes atmosféricas generadas por el tráfico vehicular, en las zonas de mayor concentración vehicular de la ciudad de Puno como área de estudio; obteniendo emisiones Totales de 3524,46 kg/año con respecto al Tramo 1 y un valor de Emisiones Totales de 10 889,14 kg/año en el Tramo 2. Esta diferencia se debe a que el Tramo 2 estuvo a mayor distancia del área de estudio que el Tramo 1, concluyendo que a mayor distancia del área de estudios mayores serán los resultados de las emisiones obtenidas por lo tanto más efectivas y fiables. Estos datos pueden ser corroborados con los resultados de Saavedra,J(2014),donde trabajó con una distancia de 1,41 km semejante al Tramo 2.

SEGUNDA: Los resultados estimados nos dan a conocer que la mayor fuente de emisión de contaminantes atmosféricos son provenientes de los taxis, combis y buses que pertenecen a la categoría M, dentro de estos se encuentra el CO con 95%,NOx con 4% y HC con 0,3% de emisiones generadas anualmente. Dichos resultados se asemejan con estudios anteriores realizados en la ciudad de Lima “2014”,Chiclayo “2019”,Cedillin “2019” y otros, donde CO (Monóxido de carbono) es el mayor contaminante generado por los vehículos de categoría M dentro de un ambiente de congestión vehicular. Saavedra,J.(2014),Garcia,C. (2019).

TERCERA: La cantidad de emisiones atmosféricas y partículas suspendidas tienen como fuentes de mayor generación a los vehículos de Categoría M que emiten PTS con un valor de 58,24 kg/año para emisiones por desgaste de neumáticos y 50,72 kg/año en emisiones por desgaste de frenos, constituyéndose en fuentes de emisiones

responsables de problemas generalmente de índole respiratorio especialmente cuando se tiene un contacto directo y constante siendo perjudiciales para la salud de las personas. Como indica los autores Wang, K. (2009), Rivas, L. & Zaragoza, J. (2015), Paneque, D. (2016)..

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Al Gobierno Regional Puno realizar estudios de otras Metodologías y modelos de emisiones de contaminantes atmosféricos como: IVE , LEAP (Sistema de Planificación de Alternativa Energética de largo Plazo), Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares entre otros para ser aplicados en la Región.

SEGUNDA: Se recomienda a las autoridades Municipales, Gobierno Regional, etc realizar monitoreo y control del parque automotor de manera trimestral o anual con el fin de establecer normas, ordenanzas para tener una referencia de las emisiones producidas por vehículos.

TERCERA: Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Puno definir valores para la medición de emisiones en el parque automotor de la ciudad de Puno, lo cual ayudaría mucho para la obtención de resultados óptimos, siendo posible aplicarlos en otros modelos de estimaciones.

CUARTA: A las Universidades, realizar estudios más profundos dentro de la Región Puno de otras fuentes contaminantes atmosféricas como pollerías, ladrilleras, parque automotor para poder comparar los resultados con el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) y con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado,M., & Aguirre, Á.(2010).Modelos de emisiones vehiculares,Modem. 14.
- Babor,J.,& Pomjuan,A.(2014). Trióxido de azufre,EcuRed. Recuperado 22 de noviembre de 2020, de https://www.ecured.cu/Tri%C3%B3xido_de_azufre
- Bravo,A.(2018).La congestión vehicular de Lima: Cuando y donde menos lo esperas – Económica.<https://economica.pe/la-congestion-vehicular-de-lima-cuando-y-donde-menos-lo-esperas/>
- Caminos,J & Ghirardi,R.(2011.).Calidad del aire en Argentina.
http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/calidad_aire_Santa_Fe.pdf
- Carnicer, J. M. (2007). Contaminación atmosférica.174.
- Cemcaq.(2017).Centro de Monitoreo de la Calidad del Aire del estado de Querétaro. Dióxido de azufre.CMA. Recuperado 22 de noviembre de 2020, de <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/porta/web/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnnextoid=815af7ffa3828310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextchannel=33fc99e6e6828310VgnVCM2000000624e50aRCRD>
- Consorci Sanitari de Barcelona.(2011).Agencia de salut pública.Óxidos.pdf.
<https://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2016/05/oxidos.pdf>.
- Consumer,E.(2010.).Dióxido de carbono. Recuperado 22 de noviembre de 2020, de <https://www.consumer.es/medio-ambiente/dioxido-de-carbono.html>
- Culquitante,J.(2017). Evaluación De Las Emisiones Contaminantes En Los Vehículos Del Servicio De Taxi En Trujillo Metropolitano, 2017. Universidad César Vallejo.
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22478>
- De la Cruz Lezama,M.(2015). Concentración de contaminantes del aire generado por las fuentes móviles en la ciudad de Huancayo 2012.
- Echarri,L. (2007).Contaminación de la atmósfera.
<http://cmap.unavarra.es/rid=1NQMZQNYR-219B14H-496/Tema%20%20Contaminacion%20atmosferica%202007.pdf>
- Espinosa,S.(2013). Identificación de posibles mejoras a la estimación de emisiones

vehiculares en comuna de Santiago de Chile. 130.

García,C.(2019).Propuesta de gestión para mitigar la emisión de contaminantes originado por fuentes móviles en ruta en Chiclayo.

Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares. (2010). Los vehículos automotores como fuentes de emisión.

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/618/vehiculos.pdf>

Guía de calidad de Aire y Educación Ambiental.pdf.(s. f.-a).

<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>

Hilario,N. (2017). Contaminantes emitidas por vehículos en el distrito de Huancayo.

IDEAM.(2013).Emisiones por fuentes moviles.Recuperado 22 de noviembre de 2020, de

<http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/emisiones-por-fuentes-moviles>

Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial - UNMSM. (2004).Gestión de la Calidad del Aire.

https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/mambiente/gest_cal/pdf/t_completo.pdf

ISTAS:Compuestos orgánicos volátiles (COV). (2010). Recuperado 22 de noviembre de 2020, de <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=621>

Jerez,A.(2008).Aplicación práctica del modelo de dispersion de contaminantes atmosfericos – ISCST3. 35.

Mannise,R.(2019).Clorofluorocarbonos o CFC.Recuperado 22 de noviembre de 2020, de

<https://ecocosas.com/ecologia/clorofluorocarbonos-cfc/>

Medina,J.(2010).La dieta del dióxido de carbono conciencia tecnología N°39.

<https://www.redalyc.org/pdf/944/94415753009.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente.(2016).Calidad del Aire y Educación Ambiental.

<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>


- Ministerio del Medio Ambiente.(2017).D.S,025-2017-EM.Establecen medidas relacionadas al contenido de azufre en el diesel, gasolina y gasohol para su comercialización.
<http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/establecen-medidas-relacionadas-al-contenido-de-azufre-en-el-diesel-gasolina-y-gasohol-para-su-comercializacion/>
- Molina,G., & Salcedo,G. (2017). Estimación Indirecta de Emisiones Contaminantes de Fuentes Móviles en el casco urbano de la cabecera cantonal del Cantón Sevilla de Oro. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6928>
- Moreno, T. (2007). Aerosoles atmosféricos: Problemas ambientales. 4.
- Muñoz,Q. (2006). Atmósfera.
- Muñoz,T., & Vásquez C. (2020). Captura de emisiones vehiculares en parques urbanos y emisiones de CO2 en Ecuador. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18390>
- OMS | Los efectos sobre la salud. (2019). WHO; World Health Organization. https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/
- OMS, C. F. (2013). Efectos a la salud por la contaminación del aire ambiente. gob.mx. <http://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/3-efectos-a-la-salud-por-la-contaminacion-del-aire-ambiente>
- Paneque,D.(2016).Su influencia en el ser humano en especial al sistema reproductor femenino. 7.
- Pedro,T.(2015).Parámetro fundamentales del tráfico,características y relaciones de intensidad.
- PHS Serkonten.(2018).Contaminación del aire: Orígenes, causas, consecuencias, control y soluciones. <https://phsserkonten.com/contaminacion-del-aire/>
- Picalua, O., & Linda, R. (2018).Estimación de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos emitidos por las fuentes móviles en las principales vías de la ciudad de Barranquilla. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/64>
- Polette, & Jacques (2017).Modelo urbano de simulación de emisiones contaminantes del parque vehicular). <https://repositorio.uc.cl/xmlui/handle/11534/21478>

- Portal,A. (2020). Evaluación de modelos de estimación de emisiones vehiculares y selección de un modelo adecuado para el área de Lima Metropolitana. Repositorio de Tesis - PUCP. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/17339>
- Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes - PRTR España.(2008).
<http://www.prtr-es.es/CFC-clorofluorocarburos,15602,11,2007.html>
- Rivas,L., & Zaragoza, J.(2015).El papel de los óxidos de nitrógeno en el Cambio Climático. Efectos sobre la salud. 20.
- Roman,M.(2017). Contaminantes emitidos a la atmósfera por vehículos en el distrito de Huancayo. 2017, 165.
- Ruiz,C.,&Bermejo,V.(2019).<https://www.conservacionvegetal.org/wp-content/uploads/calendar/Ficha%20julio%202020.pdf>
- Ruiz,E.(2015).La congestión vehicular en la ciudad de Piura. 67.
- Saavedra,J.(2014).Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generado en un ambiente de tráfico vehicular.Universiad Nacional Agraria la Molina.
- Serna, G., & Jessenia, K. (2011). Estimación de emisiones vehiculares y su determinación en la Universidad Autónoma de Occidente. instname:Universidad Autónoma de Occidente. <http://red.uao.edu.co//handle/10614/5372>
- Tello,J. (2019). Estimación de contaminantes atmosféricos emitidos por mototaxis en la ciudad de Celendín empleando el modelo internacional de emisiones vehiculares. Universidad Nacional de Cajamarca.
<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3412>
- The guardian. (2016).Las partículas que desprenden los frenos y neumáticos son contaminantes.Compromiso RSE.
<https://www.compromisorse.com/rse/2016/10/06/las-particulas-que-desprenden-los-frenos-y-neumaticos-son-contaminantes/>
- Tobar, M., & Marcelo, C. (2017).Herramienta de microsimulacion Aimsun 8.1 para la estimación de contaminantes del aire generada por la circulación vehicular

- motorizada en Ecuador. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7226>
- Urgilés,P., & Salcedo,C. (2019).Estimación de un inventario de emisiones de fuentes móviles terrestres para la ciudad de Azogues aplicando el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8894>
- Valencia,D., Muñoz-Duque, M. A., Muñoz, A. R., Jaramillo, L. A. B., & Restrepo, C. A. H. (2015).Modelo de estimación de emisiones atmosféricas vehiculares como herramienta en la gestión ambiental institucional.10(1), 22-39.
- Vargas, J. (2014). Ambiente de tráfico vehicular. 117.
- Wang,K.(2009).Disminuye la visibilidad debido a la contaminación.Recuperado 23 de noviembre de 2020, de <https://www.montevideo.com.uy/Ciencia-y-Tecnologia/Disminuye-la-visibilidad-debido-a-contaminacion-uc79004>
- Yucra,R. (2017). Determinación del nivel de contaminación de dióxido de carbono por el parque automotor en la ciudad de Puno. 109.

ANEXOS

ANEXO 1 Hoja de campo Información del Parque Automotor

 HOJA DE CAMPO INFORMACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR									
Evalgador: Joan Guiller Velez Marcavillaca.	Día 1	Fecha:							
Punto de monitoreo: Entrada <input checked="" type="checkbox"/> Salida	Referencia: Ramon Castilla-Av. Sol/Av. Ejercito								
Hora: 1pm - 2pm	Distancia:	Duración: 1hora	Intervalos de Medición: 15 min						
CONTEO DE FLUJO VEHICULAR									
CATEGORIA VEHICULAR Menos de 4 Ruedas									
CATEGORIA L: Vmáx 50 km/h									
L1 - L4 (Moto Lineal)									
L5 (Motocarrros)									
Total L1 - L4	0			Total L5	0	TOTAL CAT. L	0	TIEMPO DE RE.	6m.5s.16
CATEGORIA M: De 4ruedas a más(transporte de personas)									
M1 (Taxis)									
M2 (Combis)									
M3 (Bus)									
Total M1	0	Total M2	0	Total M3	0	TOTAL CAT. M	0	TIEMPO DE RE.	5m.10s.6
CATEGORIA N: Transporte de mercancías									
N1 (4X4)									
N2 - N3 (Camion de carga)									
Total N1	0	Total N2-N3	0	TOTAL CAT. N	0	TIEMPO DE RE.	6m.2s.4		
CATEGORIA O: Remolques y semi remolques									
O1 - O2 - O3 - O4									
TOTAL CAT. O	0	TIEMPO DE RE.	6m.10s.5						
COMBINACIONES ESPECIALES Casas rodantes,vehiculos blindados,ambulancias,vehiculos funerarios,bomberos,porta tropas,vehiculos celulares									
SA - SB - SC - SD - SE - SF - SG									
TOTAL CAT.ESP.	0	TIEMPO DE RE.							

ANEXO 2 Factores de Emisión para Vehículos Livianos de pasajeros y Taxis

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISIÓN (gr/km)
Vehículos particulares livianos sin convertidor catalítico. (sin normas de emisión) Taxis sin convertidor catalítico (sin normas de emisión)	MP ₁₀	0.019
	CO	$0.0203 * V^2 - 2.2662 * V + 77.661$
	HCT	$11.589 * V^{-0.5595}$
	NO _x	$9.5 * 10^{-6} * V^3 - 0.0016 * V^2 + 0.0738 * V + 1.2586$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	$3.31 * 10^{-5} * V^2 - 0.00573 * V + 0.268$
	N ₂ O	0.005
	NH ₃	0.002
	CC	$595.76 * V^{-0.534}$
Vehículos particulares livianos con convertidor catalítico Tipo I. (EURO I o superior) Taxis con convertidor catalítico Tipo I. (EURO I o superior)	MP ₁₀	0.0046
	CO	$28.884 * V^{-0.8384}$
	HCT	$1.1851 * V^{-0.616}$
	NO _x	$1.1 * 10^{-6} * V^3 - 0.0001677 * V^2 + 0.0031795 * V + 0.4835758$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	$1.1176 * 10^{-5} * V^2 - 0.00196 * V + 0.099652$
	N ₂ O	0.053
	NH ₃	0.070
	CC	$552.25 * V^{-0.5486}$
Vehículos particulares livianos otros ¹⁰ . (sin norma de emisión)	MP ₁₀	$0.000058 * V^2 - 0.0086 * V + 0.45$
	CO	$5.41301 * V^{-0.574}$
	HCT	$4.61 * V^{-0.937}$
	NO _x	$0.000101 * V^2 - 0.014 * V + 0.918$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	$0.0000019 * V^2 - 0.1775 * V + 7.9936$
	N ₂ O	0.027
	NH ₃	0.001
	CC	$0.014 * V^2 - 2.084 * V + 118.489$

ANEXO 3 Factores de Emisión para Vehículos Livianos Comerciales

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION (gr/km)
Vehículos livianos comerciales sin convertidor catalítico < 3.5 ton (sin normas de emisión)	MP ₁₀	0.019
	CO	$0.01104 * V^2 - 1.5132 * V + 57.789$
	HCT	$0.000677 * V^2 - 0.1170 * V + 5.4734$
	NO _x	$0.0179 * V + 1.9547$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.15
	N ₂ O	0.006
	NH ₃	0.002
	CC	$0.0234 * V^2 - 3.3718 * V + 195.96$
Vehículos livianos comerciales con convertidor catalítico < 3.5 ton, Tipo I (EURO I o superior)	MP ₁₀	0.0046
	CO	$0.0037 * V^2 - 0.5215 * V + 19.127$
	HCT	$0.0000577 * V^2 - 0.01047 * V + 0.5462$
	NO _x	$0.0000755 * V^2 - 0.009 * V + 0.666$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	$1.2969 * 10^{-5} * V^2 - 0.0021098 * V + 0.101995$
	N ₂ O	0.053
	NH ₃	0.07
	CC	$0.0234 * V^2 - 3.3718 * V + 195.96$
Vehículos livianos comerciales diesel < 3.5 ton, Tipo I (sin normas de emisión)	MP ₁₀	$0.000045 * V^2 - 0.004885 * V + 0.1932$
	CO	$0.000223 * V^2 - 0.026 * V + 1.076$
	HCT	$0.0000175 * V^2 - 0.00284 * V + 0.2162$
	NO _x	$0.000241 * V^2 - 0.03181 * V + 2.0247$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.005
	N ₂ O	0.017
	NH ₃	0.001
	CC	$0.0198 * V^2 - 2.506 * V + 137.42$
Vehículos livianos comerciales diesel < 3.5 ton (EURO I o superior), Tipo II	MP ₁₀	$0.00003015 * V^2 - 0.00327295 * V + 0.12944$
	CO	$0.00018286 * V^2 - 0.02132 * V + 0.88232$
	HCT	$0.00001085 * V^2 - 0.0017608 * V + 0.134044$
	NO _x	$0.00020244 * V^2 - 0.0267204 * V + 1.660254$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.005
	N ₂ O	0.017
	NH ₃	0.001
	CC	$0.0198 * V^2 - 2.506 * V + 137.42$

ANEXO 4 Factores de Emisión para Camiones Livianos

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION (gr/km)	
Camiones livianos Tipo I Convencionales <7.5 t (sin normas de emisión)	MP ₁₀	$4.5563 * V^{-0.707}$	
	CO	$37.280 * V^{-0.6945}$	
	HCT	$40.120 * V^{-0.8774}$	
	NO _x	$50.305 * V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.0014 * V^2 - 0.1737 * V + 7.5506$	
	SO ₂	(1)	
	CO ₂	(2)	
	CH ₄	0.085	
	N ₂ O	0.03	
	NH ₃	0.003	
	CC	$1425.2 * V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 * V^2 - 0.043 * V + 60.12$	
	Camiones livianos Tipo II < 7.5 ton (EURO I o superior)	MP ₁₀	$2.96159 * V^{-0.7070}$
		CO	$18.64 * V^{-0.6945}$
HCT		$30.09 * V^{-0.8774}$	
NO _x		$35.2135 * V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.00098 * V^2 - 0.12159 * V + 5.28542$	
SO ₂		(1)	
CO ₂		(2)	
CH ₄		0.06375	
N ₂ O		0.03	
NH ₃		0.003	
CC		$1425.2 * V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 * V^2 - 0.043 * V + 60.12$	
Camiones livianos Tipo III < 7.5 ton (EURO II o superior)		MP ₁₀	$1.82252 * V^{-0.7070}$
		CO	$14.912 * V^{-0.6945}$
	HCT	$19.6585 * V^{-0.8774}$	
	NO _x	$25.1525 * V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.0007 * V^2 - 0.060795 * V + 3.7753$	
	SO ₂	(1)	
	CO ₂	(2)	
	CH ₄	0.0595	
	N ₂ O	0.03	
	NH ₃	0.003	
	CC	$1425.2 * V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 * V^2 - 0.043 * V + 60.12$	
	Camiones livianos Tipo IV < 7.5 ton (EURO III o superior)	MP ₁₀	$1.2757 * V^{-0.7070}$
		CO	$10.438 * V^{-0.6945}$
HCT		$14.7441 * V^{-0.8774}$	
NO _x		$17.60675 * V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.00049 * V^2 - 0.060795 * V + 2.64271$	
SO ₂		(1)	
CO ₂		(2)	
CH ₄		0.04165	
N ₂ O		0.03	
NH ₃		0.003	
CC		$1425.2 * V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 * V^2 - 0.043 * V + 60.12$	

ANEXO 5 Factores de Emisión para Camiones Medianos

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION (gr/km)
Camiones Medianos Tipo I 7.5 – 16 ton (sin normas de emisión)	MP ₁₀	$9.6037 * V^{-0.7259}$
	CO	$37.28 * V^{-0.6945}$
	HCT	$40.12 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$92.584 * V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.0006 * V^2 - 0.0941 * V + 7.7785$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.085
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1068.4 * V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126 * V^2 - 0.6589 * V + 141.18$
	Camiones Medianos Tipo II 7.5 – 16 ton (EURO I o superior)	MP ₁₀
CO		$18.64 * V^{-0.6945}$
HCT		$30.09 * V^{-0.8774}$
NO _x		$64.8088 * V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.00042 * V^2 - 0.06587 * V + 5.44495$
SO ₂		(1)
CO ₂		(2)
CH ₄		0.06375
N ₂ O		0.03
NH ₃		0.003
CC		$1068.4 * V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126 * V^2 - 0.6589 * V + 141.18$
Camiones Medianos Tipo III 7.5 – 16 ton (EURO II o superior)		MP ₁₀
	CO	$14.912 * V^{-0.6945}$
	HCT	$28.084 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$46.292 * V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.0003 * V^2 - 0.04705 * V + 3.88925$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.0595
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1068.4 * V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126 * V^2 - 0.6589 * V + 141.18$
	Camiones Medianos Tipo IV 7.5 – 16 ton (EURO III o superior)	MP ₁₀
CO		$10.4384 * V^{-0.6945}$
HCT		$19.6588 * V^{-0.8774}$
NO _x		$32.4044 * V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.00021 * V^2 - 0.032935 * V + 2.722475$
SO ₂		(1)
CO ₂		(2)
CH ₄		0.04165
N ₂ O		0.03
NH ₃		0.003
CC		$1068.4 * V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126 * V^2 - 0.6589 * V + 141.18$

ANEXO 6 Factores de Emisión para Camiones Pesados

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION (gr/km)
Camiones Pesados Tipo I convencionales (sin normas de emisión)	MP ₁₀	$10.933 * V^{-0.7054}$
	CO	$37.280 * V^{-0.6945}$
	HCT	$40.12 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$116.16 * V^{-0.5859}$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.175
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1678.7 * V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051 * V^2 - 7.2508 * V + 506.71$
Camiones Pesados Tipo II (EURO I o superior)	MP ₁₀	$7.10645 * V^{-0.7054}$
	CO	$20.504 * V^{-0.6945}$
	HCT	$20.06 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$63.888 * V^{-0.5859}$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.0875
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1678.7 * V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051 * V^2 - 7.2508 * V + 506.71$
Camiones Pesados Tipo III (EURO II o superior)	MP ₁₀	$2.73325 * V^{-0.7054}$
	CO	$16.776 * V^{-0.6945}$
	HCT	$18.054 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$46.464 * V^{-0.5859}$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.07875
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1678.7 * V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051 * V^2 - 7.2508 * V + 506.71$
Camiones Pesados Tipo IV (EURO III o superior)	MP ₁₀	$1.913275 * V^{-0.7054}$
	CO	$11.7432 * V^{-0.6945}$
	HCT	$12.6378 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$32.5248 * V^{-0.5859}$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.055125
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1678.7 * V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051 * V^2 - 7.2508 * V + 506.71$

ANEXO 7 Factores de Emisión para Motocicletas

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTORES EMISION (gr/km)
Motocicletas 2 tiempos Convencional	CO	$-0.001 * V^2 + 0.172 * V + 18.1$ (V<60 km/h) $0.0001 * V^2 - 0.05 * V + 21.5$
	HCT	$0.0035 * V^2 - 0.409 * V + 20.1$ (V<60 km/h) $0.0003 * V^2 - 0.0524 * V + 10.6$
	NO _x	$0.00003 * V^2 - 0.002 * V + 0.064$ (V<60 km/h) $-0.00002 * V^2 - 0.0049 * V - 0.157$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.15
	N ₂ O	0.002
	NH ₃	0.002
	CC	$0.006300 * V^2 - 0.6028 * V + 44.40$ (V<60 km/h) $-0.0005 * V^2 + 0.2375 * V + 18.2$
Motocicletas 2 tiempos Tipo I	CO	$-0.0063 * V^2 + 0.715 * V - 6.9$ (V<60 km/h) $0.0007 * V^2 + 0.157 * V + 6.0$
	HCT	$-0.00100 * V^2 + 0.0970 * V + 3.90$ (V<60 km/h) $-0.0003 * V^2 + 0.0325 * V + 5.2$
	NO _x	$0.00002 * V^2 - 0.0010 * V + 0.032$ (V<60 km/h) $-0.00002 * V^2 + 0.0041 * V - 0.152$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.15
	N ₂ O	0.002
	NH ₃	0.002
	CC	$-0.0011 * V^2 + 0.2008 * V + 17.8$ (V<60 km/h) $-0.001 * V^2 + 0.2425 * V + 14.6$
Motocicletas 4 tiempos Convencional	CO	$0.0139 * V^2 - 1.42 * V + 55.0$ (V<60 km/h) $0.0009 * V^2 + 0.0099 * V + 17.8$
	HCT	$0.0015 * V^2 - 0.164 * V + 5.51$ (V<60 km/h) $0.00001 * V^2 + 0.0005 * V + 0.86$
	NO _x	$0.00005 * V^2 - 0.0009 * V + 0.092$ (V<60 km/h) $0.00002 * V^2 + 0.0007 * V + 0.104$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.2
	N ₂ O	0.002
	NH ₃	0.002
	CC	$0.02730 * V^2 - 2.8490 * V + 98.90$ (V<60 km/h) $0.00210 * V^2 - 0.1550 * V + 29.20$
Motocicletas 4 tiempos Tipo I	CO	$0.00760 * V^2 - 0.7300 * V + 23.50$ (V<60 km/h) $0.001 * V^2 + 0.051 * V + 0.8$
	HCT	$0.00070 * V^2 - 0.0755 * V + 2.630$ (V<60 km/h) $0.00007 * V^2 - 0.0152 * V + 1.19$
	NO _x	$0.00005 * V^2 - 0.0007 * V + 0.137$ (V<60 km/h) $0.00002 * V^2 + 0.001 * V + 0.143$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.2
	N ₂ O	0.002
	NH ₃	0.002
	CC	$0.02000 * V^2 - 2.0750 * V + 77.10$ (V<60 km/h) $0.0013 * V^2 - 0.0391 * V + 23.5$

ANEXO 8 Especificaciones Técnicas PETROPERÚ (Presión de vapor)

Petróleos del Perú - PETROPERÚ S.A.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ

CLASE DE PRODUCTO COMBUSTIBLE		<i>Fecha efectiva:</i> Enero 2019	
TIPO DE PRODUCTO GASOLINA USO MOTOR		<i>Reemplaza edición de:</i> Enero 2014	
NOMBRE DE PRODUCTO GASOLINA 90 OCTANOS			
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO
	MIN.	MÁX.	ASTM OTROS
APARIENCIA	Transparente		Visual
Color comercial	Violeta (b)		Visual
VOLATILIDAD			
Gravedad API a 60°F	Reportar		D-1298, D-4052 IP-160, IP-365
Destilación, a 760 mm Hg, °C			D-86, D-7096, D-7345 IP-123
Punto inicial de ebullición	Reportar		
5 %V recuperado	Reportar		
10 %V recuperado	70		
20 %V recuperado	Reportar		
50 %V recuperado	140		
90 %V recuperado	200		
95 %V recuperado	Reportar		
Punto final de ebullición	221		
Recuperado, %V	96.0		
Residuo, %V	2.0		
Pérdida, %V	Reportar		
Relación vapor/líquido = 20, °C	56 (c)		D-5188, D-4814
Presión de vapor, KPa (psi)	69 (10)		D-323, D-4953, D-5191, D-5482, D-6378 IP-69, IP-394
CORROSIVIDAD			
Corrosión lámina de cobre, 3h, 50°C, N°	1		D-130 IP-154
Azufre total, % masa	0.1		D-2622, D-4294, D-5453 IP-107, IP-336
ANTIDETONANCIA			
Número de octano Research	90.0		D-2699
ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN			
Periodo de inducción, minutos	240		D-525 IP-40
CONTAMINANTES			
Gomas lavadas, mg/100mL	5.0		D-381 IP-131
Plomo, g/L	0.013		D-3237, D-5059 IP-428
OBSERVACIONES:			
(a) En concordancia con la Norma Técnica Peruana vigente y con los ensayos del estándar ASTM D-4814			
(b) Uso de colorante con fines de identificación. La Gasolina 90 Octanos de la Refinería Selva es Verde			
(c) Si no se dispone del equipo, calcular mediante el Apéndice X2 del ASTM D-4814.			
NOTA: A la Gasolina 90 Octanos se le añadirá 7.8% en volumen de Alcohol Carburante, en las Plantas de Ventas de destino, de conformidad al cronograma establecido en el D.S. 021-2007-EM y modificatorias, dando como resultado el Gasohol 90 Plus.			

ANEXO 9 Información del parque automotor Lima 2014

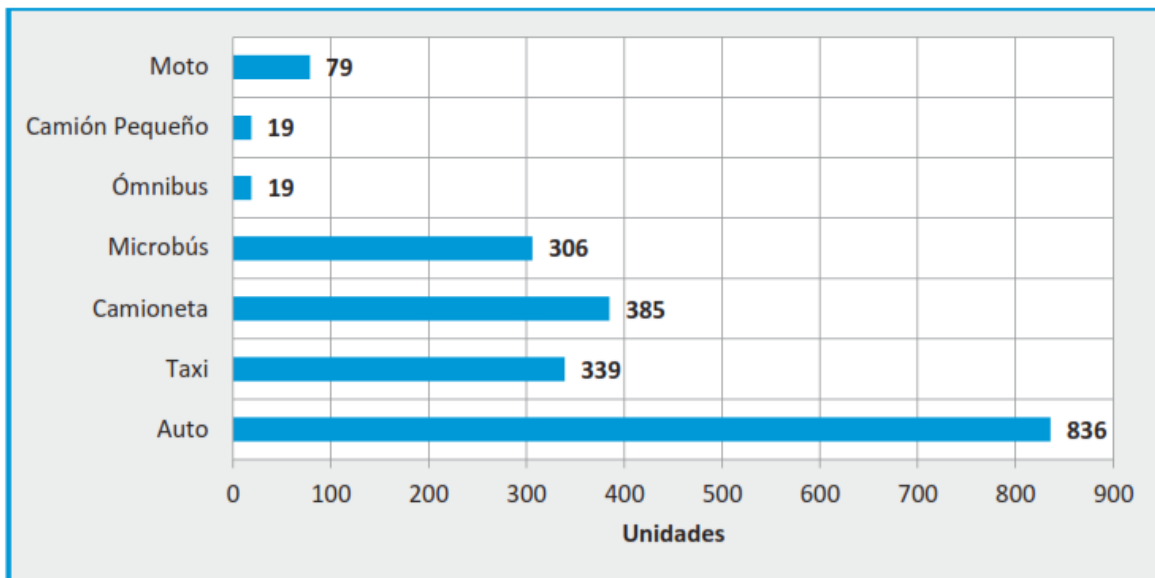


Figura 21. Tránsito vehicular promedio.

La intensidad vehicular es de 1983 vehículos en promedio durante una hora y media.

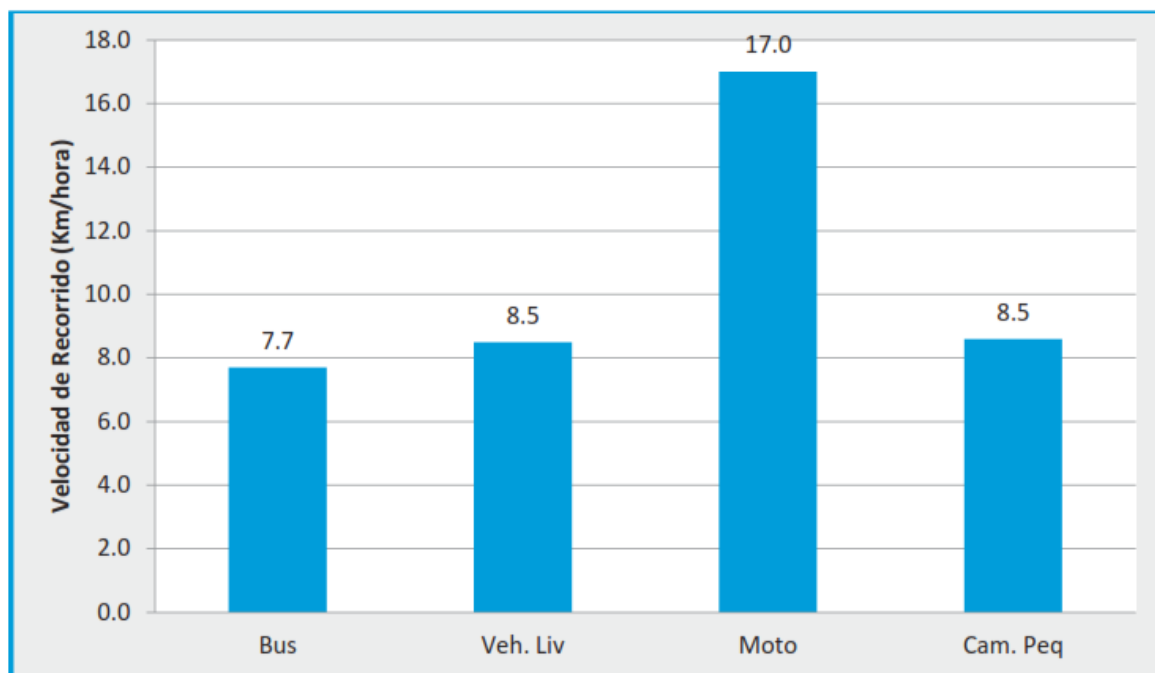


Figura 22. Velocidad promedio vehicular.

ANEXO 10 Emisiones generadas por desgaste de neumáticos Lima 2014.

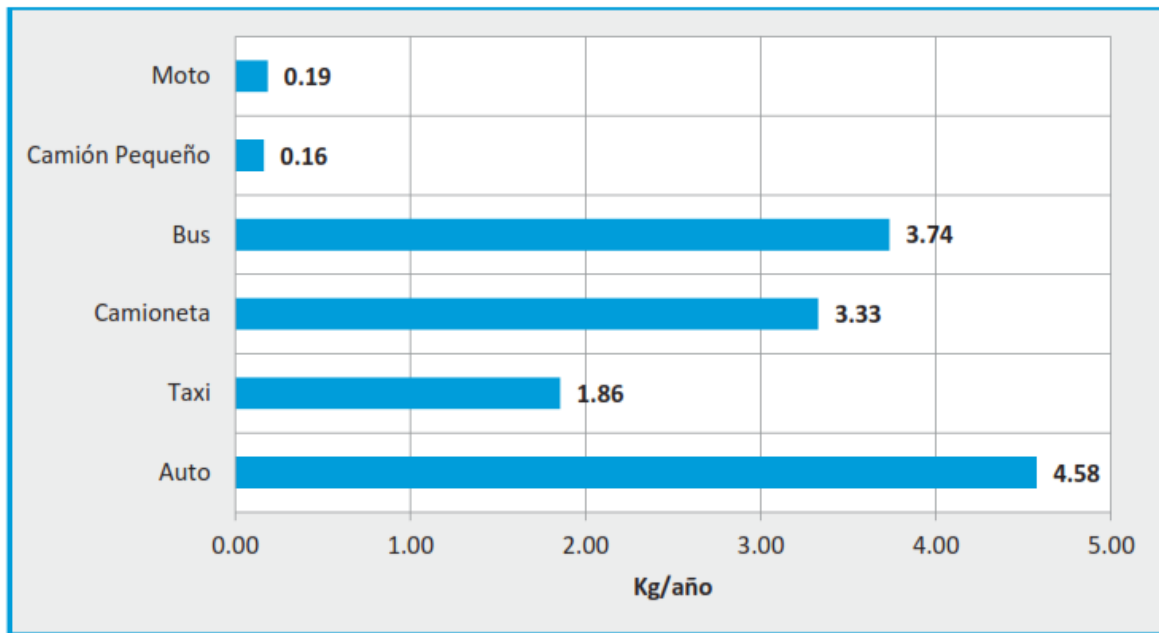


Figura 23. Emisiones provenientes del desgaste de neumáticos.

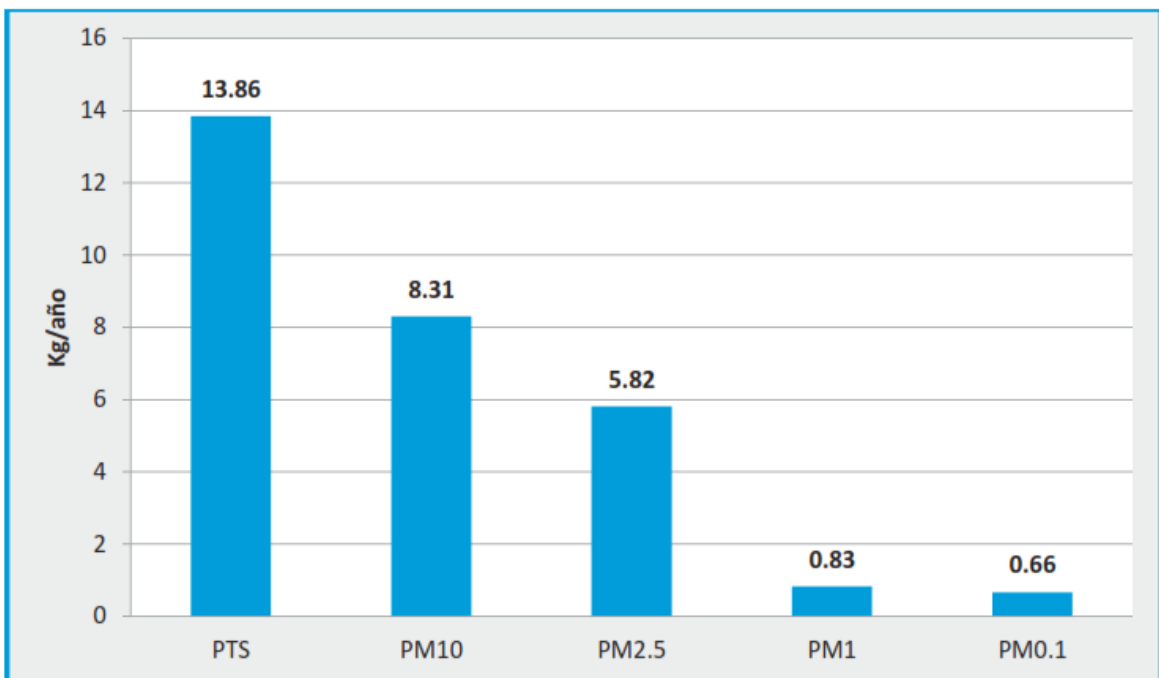


Figura 24. Emisiones totales provenientes del desgaste de neumáticos.

ANEXO 11 Emisiones generadas por desgaste de frenos Lima 2014.

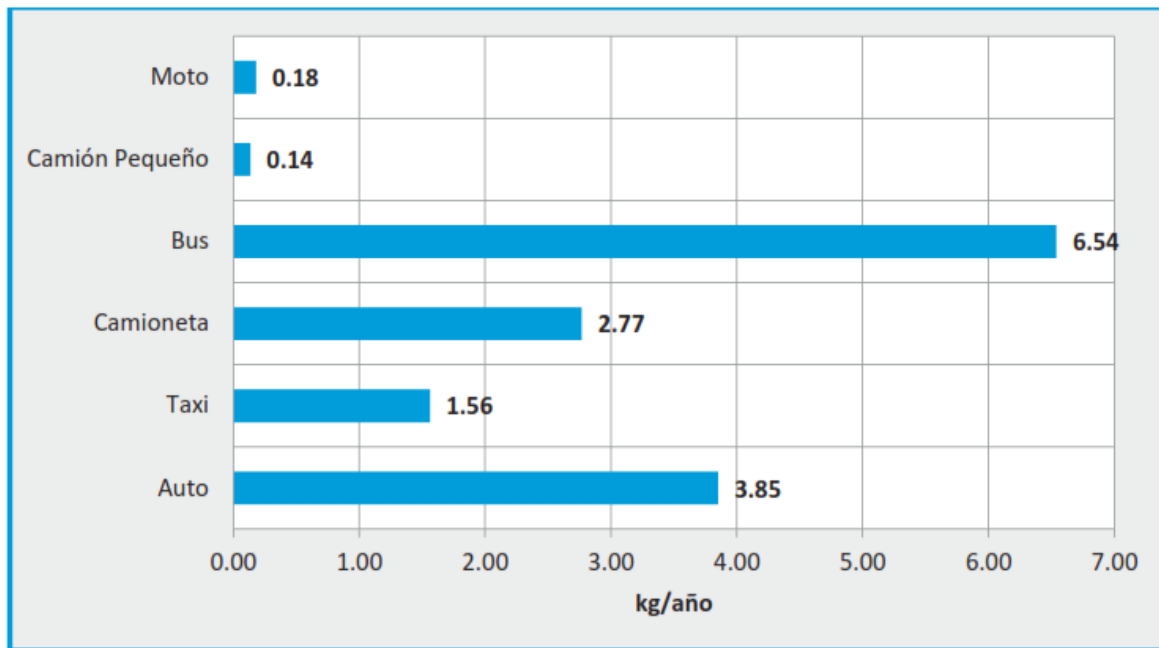


Figura 25. Emisiones provenientes del desgaste de frenos.

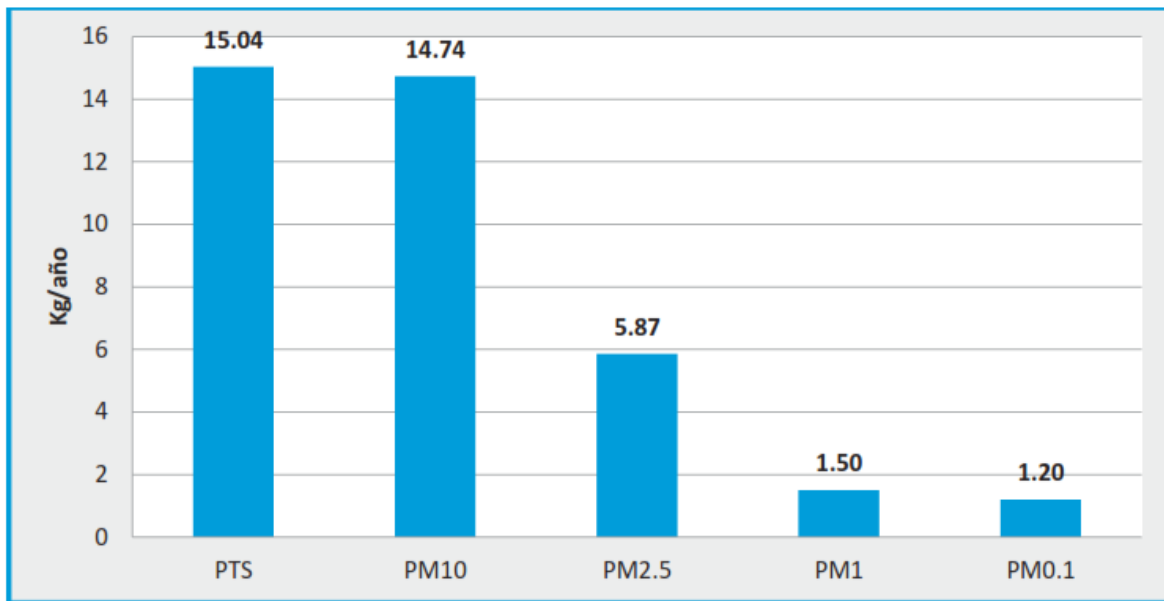


Figura 26. Emisiones totales provenientes del desgaste de frenos.

ANEXO 12 Emisiones Totales generados en un ambiente de tráfico vehicular Lima 2014

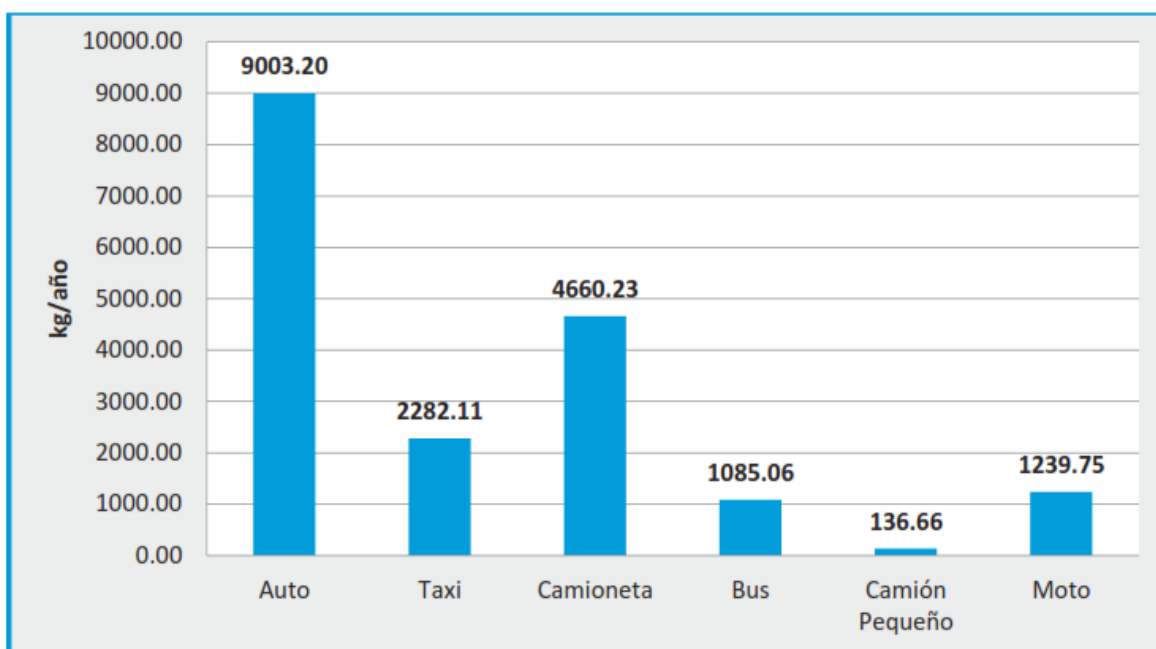


Figura 27. Emisiones Totales

ANEXO 13 Cantidad de contaminantes atmosféricos emitidos en la ciudad de Cedillin 2019.

Tabla 24 Cantidad de contaminantes atmosféricos emitidos por mototaxis.

Población de mototaxis	Unidad de medición	Emisión de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Celendín						Total
		CO	VOC	VOC _{evap}	NO _x	SO _x	PM	
961	(g día ⁻¹)	153072	32644	4725.19	6445	45.34	1261.2	198192.15
	(t día ⁻¹)	0.1531	0.0326	0.0047	0.0064	0.0000	0.0013	0.20
	(t mes ⁻¹)	4.5921	0.9793	0.1418	0.1934	0.0014	0.0378	5.95
	(t año ⁻¹)	55.1057	11.7518	1.7011	2.3202	0.0163	0.4540	72.34

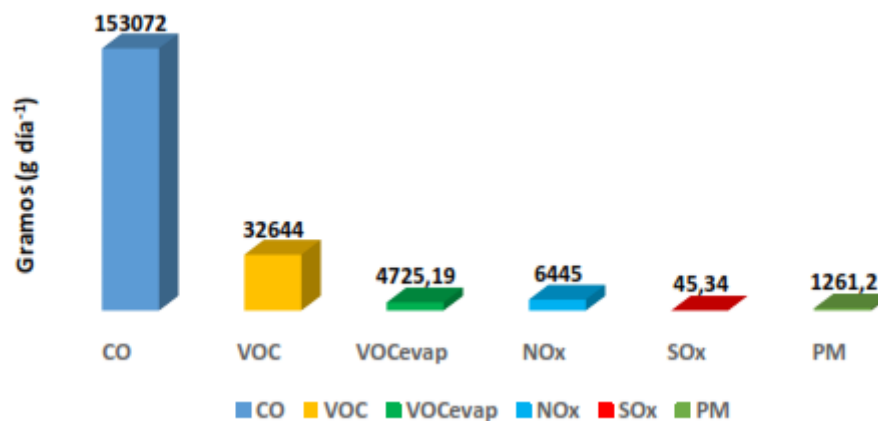


Figura 28. Cantidad de contaminantes atmosféricos emitidos por mototaxis.

Anexo 14 Inventarios de emisiones anuales en la ciudad de Azogues, Cuenca 2019

Tabla 25 Emisiones anuales Azogues

Emisiones anuales [Ton]		
Monóxido de carbono	CO	815
Dióxido de carbono	CO2	15000
Compuestos orgánicos volátiles	VOC	56
Óxidos de nitrógeno	NOx	73
Óxidos de azufre	SOx	2
Material particulado (10 micras)	MP10	24

Anexo 15 Modelo para estimación de emisiones vehiculares como herramienta para la gestión Institucional.

Tabla 26 Emisiones por estrato y por tipo de vehículo - muestra (g/semana).

Estrato	Tipo de transporte	Emisión CO	Emisión MP	Emisión SO ₂	Emisión VOC	Emisión NO _x
E1	A pie/Bicicleta	-	-	-	-	-
E1	Moto	901	12	1	231	39
E1	Transporte Público Colectivo	1146	205	123	222	2251
E1	Vehículo particular	2069	0	2	254	162
E2	A pie/Bicicleta	-	-	-	-	-
E2	Moto	3795	57	4	1655	104
E2	Transporte Público Colectivo	3205	573	342	620	6289
E2	Vehículo particular	4048	2	10	503	332
E3	Moto	4210	50	5	1250	197
E3	Transporte Público Colectivo	2813	502	300	544	5513
E3	Vehículo particular	4910	5	17	548	582
E4	Moto	2092	20	4	610	117
E4	Transporte Público Colectivo	2775	490	292	537	5399
E4	Vehículo particular	1808	41	29	218	830
Total Emisiones (g/semana)		33773	1959	1129	7193	21815

ANEXO 16 Matriz de Consistencia

TÍTULO	EFECTIVIDAD DEL MÉTODO MODEM PARA LA MEDICIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES GENERADOS EN UN AMBIENTE DE TRÁFICO VEHICULAR – PUNO 2020					
	MATRIZ DE CONSISTENCIA					
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Metodología	Variables	Dimensión	Indicador
¿Cuál es el nivel de efectividad del método, MÓDEM (2010) para la determinación de emisiones contaminantes atmosféricas, generados en un ambiente de tráfico vehicular capital 2020?	Determinar la efectividad del método, MÓDEM (2010), para la evaluación de emisiones atmosféricas generados en un ambiente de congestión vehicular.	El MÓDEM (2010), en la determinación de emisiones de contaminantes atmosféricos, generados por el tráfico vehicular en la ciudad de Puno tiene un buen nivel de efectividad.	<p>Tipo de investigación: Descriptivo aplicativo debido a que servirá para realizar un análisis de los contaminantes generados en un ambiente vehicular (parque automotor), en el cual no se modifican las variables de estudio.</p> <p>La metodología de la investigación es el método descriptivo, aplicativo y observacional.</p>	<p>Independientes</p> <ul style="list-style-type: none"> -Emisiones atmosféricas -Estimación de emisiones de contaminantes generados por fuentes móviles 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contaminación al medio ambiente en el ser humano 2. Molestias 3. Parque automotor 	<ul style="list-style-type: none"> -Kg/día -Kg/año -Composición vehicular
				<p>Dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> -Ambiente (atmosférico) - Congestión vehicular 		
<p>Problemas específicos</p> <p>¿Cuáles serán los resultados del método MÓDEM (2010), en la evaluación de emisiones atmosféricas provocadas por el tráfico vehicular en las zonas con mayor tráfico vehicular en la ciudad de Puno?</p> <p>¿Cómo influye la contaminación atmosférica en la salud de las personas en el área de influencia directa o zona de estudio?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar mediante el Método, MÓDEM (2010), las emisiones generadas por el tráfico vehicular, en las calles: Jirón Lampa/Av. la Torre – Jirón Deza – Mercado Central – Dante Nava/ Av. El Ejército – Av. El sol en horas de mayor concentración vehicular de la ciudad de Puno-2020.</p> <p>Determinar la cantidad de emisiones contaminantes generadas y los efectos significativos en las personas con contacto directo en un área de congestión vehicular Puno-2020.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>Los valores de las emisiones de contaminantes atmosféricos, en las zonas con mayor tráfico vehicular de la ciudad de Puno, determinados por el método MÓDEM (2010) son confiables</p> <p>La emisión de contaminantes atmosféricos generados por el constante tráfico vehicular, afectan a la salud de las personas en las áreas de influencia directa de estudio.</p>	<p>Diseño de investigación: El tipo de investigación será descriptivo y aplicativo donde no se modificará ninguna de las variables de estudio, el enfoque será cuantitativo porque se utiliza valores numéricos y ecuaciones de cálculo. Para la realización del trabajo de investigación se dividirán en 3 etapas con el fin de poder llevar un mejor control de los datos y resultados.</p> <p>Etapa 1: Recolección de Información Etapa 2: Análisis de variables Etapa 3: Comparación de resultados obtenidos.</p>	<p>Variables</p> <ul style="list-style-type: none"> -Ambiente (atmosférico) - Congestión vehicular 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Velocidad vehicular 	<ul style="list-style-type: none"> Km/h