ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES AL AIRE Y MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN ZONAS DE INTERES EN LA JURISDICCIÓN DE CORNARE

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO DE COLABORACIÓN No. 141-2023

INFORME DE ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO ASOCIADO A LA FUENTE DE EMISIÓN LÍNEAL VÍA LA DANTA

UNA ALIANZA ENTRE:

EJECUTOR

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Corporación Académica Ambiental

EL HOMBRE POR NATURALEZA
Cornare
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL RIONEGRO-NARE

MEDELLÍN, DICIEMBRE 2023

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS **3**
LISTA DE FIGURAS **4**
1. INTRODUCCIÓN **5**
2. METODOLOGÍA **6**
3. RESULTADOS **14**
3.1 AFOROS VEHICULARES **14**
3.1.1 Punto 1 14
3.1.2 Punto 2 16
3.1.3 Punto 3 19
3.1.4 Punto 4 22
3.2 CÁLCULO DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD) Y EL PESO PROMEDIO PONDERADO **24**
3.3 CALCULO DE EMISIONES **25**
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **27**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de aforo 6
Tabla 2. Pesos supuestos por tipo de vehículo 8
Tabla 3. División por tramos de la vía La Danta 8
Tabla 4. TPD para cada tramo de la vía 25
Tabla 5. Constantes para el cálculo del factor de emisión para vías industriales 25
Tabla 6. Nivel de actividad para cada tramo de la vía 26
Tabla 7. emisiones por tipo de contaminante para cada tramo de la vía 26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resultados del aforo vehicular en el punto 1 15
Figura 2. Perfil vehicular por hora para días laborales 15
Figura 3. Perfil vehicular por hora para el sábado 16
Figura 4. Perfil vehicular por hora para el domingo 16
Figura 5. Resultados del aforo vehicular en el punto 2 17
Figura 6. Perfil vehicular por hora para días laborales 18
Figura 7. Perfil vehicular por hora para el sábado 18
Figura 8. Perfil vehicular por hora para el domingo 19
Figura 9. Resultados del aforo vehicular en el punto 3 20
Figura 10. Perfil vehicular por hora para días laborales 20
Figura 11. Perfil vehicular por hora para el sábado 21
Figura 12. Perfil vehicular por hora para el domingo 21
Figura 13. Resultados del aforo vehicular en el punto 4 22
Figura 14. Perfil vehicular por hora para días laborales 23
Figura 15. Perfil vehicular por hora para el sábado 23
Figura 16. Perfil vehicular por hora para el domingo 24
Figura 5. TPD por cada tramo de la vía 25

1. INTRODUCCIÓN

La Corporación Autónoma Regional de las Cuencas del Rio Negro y Nare “CORNARE” con el objetivo de contribuir y propender al desarrollo sostenible del medio ambiente y velar por la conservación de un ambiente sano, orientado hacia la gestión de la calidad del aire, hace necesario aunar esfuerzos para la ejecución de proyectos que permitan el fortalecimiento de buenas prácticas ambientales. Es por esto que en ejercicio de sus funciones se suscribió el convenio 141-2023 entre la Universidad de Antioquia en alianza con CORNARE que tiene como objetivo “la actualización del inventario de emisiones al aire y modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos en zonas de interés en la jurisdicción de CORNARE” con acta de inicio del 15 de marzo de 2023.

La actualización de los inventarios de emisiones atmosféricas es primordial para detectar tendencias y realizar proyecciones de emisiones atmosféricas. Además, permite conocer los aportes de las nuevas fuentes de emisiones y determinar cuáles son las fuentes más relevantes en los diferentes sectores productivos, utilizando esta información como base para la implementación, evaluación y ajustes de las medidas de control, con el fin de realizar una buena gestión del recurso aire.

Las vías no pavimentadas, debido a sus características físicas, se consideran una fuente fija de emisiones atmosféricas. Este fenómeno se debe a la pulverización del material superficial del suelo ocasionada por la fuerza de las ruedas de los vehículos, generando emisiones que se dispersan en las corrientes atmosféricas. La vía La Danta, que conecta el corregimiento La Danta en Sonsón con la autopista Medellín – Bogotá, con sus 11350,10 metros de longitud y estado sin pavimentar, ha sido objeto de varios estudios. Estos estudios han revelado que en zonas cercanas a esta vía se superan los límites permisibles de partículas, y las emisiones de Partículas en Suspensión Totales (PST) de esta vía representan aproximadamente el 93% de las emisiones totales de PST en la zona (CORNARE, 2016). En consecuencia, este informe detalla la estimación de las emisiones atmosféricas generadas por la vía La Danta dentro de la jurisdicción de CORNARE.

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de estimación de las emisiones de la vía La Danta se desarrolló recopilación de información mediante aforos vehiculares, a partir de estos se estimó el Trafico Promedio Diario (TPD) y finalmente la estimación de las emisiones según la metodología del AP42 de la US EPA.

A) Recopilación de información

Para determinar las emisiones atmosféricas originadas en la vía La Danta, el proceso inicial implica la recopilación de información. El tránsito vehicular es el principal generador de la resuspensión de partículas de polvo en esta vía. Por ende, se llevó a cabo un aforo vehicular en puntos estratégicos de la vía para comprender las dinámicas de movilidad. Este análisis debe considerar el tipo de vehículo, ya que el peso impacta la compactación del material de la carretera, afectando directamente las emisiones. La recopilación de datos se extiende por 7 días, las 24 horas del día, abarcando al menos un día dominical, con el objetivo de obtener una visión completa de las dinámicas de movilidad en los diferentes tramos viales. El conteo vehicular se realizó en 4 puntos estratégicos sobre la vía la danta que permite abarcar toda la dinámica de circulación vehicular sobre esta, en la Tabla 1 se muestran las coordenadas de los puntos de aforo. Así mismo, en la Imagen 1 se presenta la ubicación de los puntos sobre la vía la Danta.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de aforo

Punto	Lugar de aforo	Coordenadas	
		N	W
1	Km. 2.3 vía La Danta	5°54'21.12"	74°48'35.62"
2	La Danta	5°50'10.53"	74°49'47.09"
3	Sector EDS La Danta	5°49'44.28"	74°49'53.06"
4	Cantera Sur	5°47'21.58"	74°50'19.80"

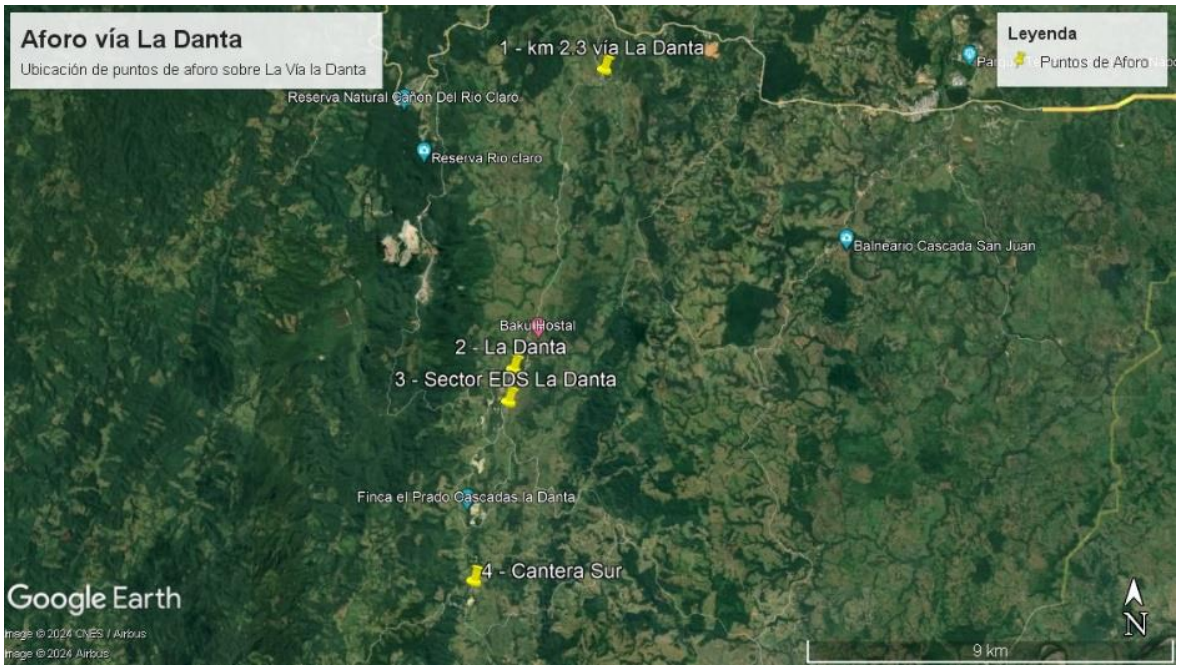


Imagen 1. Ubicación de los puntos de aforo sobre la vía La Danta.

B) Transito promedio diario (TPD)

El Trafico, o tránsito, promedio diario es una medida promedio del flujo vehicular de una vía, la metodología para su estimación se basó en aforos vehiculares levantados durante una semana, esto permite caracterizar las diferencias entre los tipos de días, para la vía la danta se identificó un comportamiento diferente para los días lunes a viernes, sábados y domingos, dado que el trafico promedio es ponderado, los pesos relativos usados para ponderar corresponden al numero de días año por cada tipo de día. Por ejemplo el transito promedio diario de lunes a viernes será la cantidad de vehículos cuantificados en el aforo para esos días multiplicada por la relación de días que hay en este rango de la semana, respecto al total de días del año.

La memoria de cálculo del TPD Se presenta en el *Anexo 1. TPD_INV.xlsx*, cada una de las hojas AF_P1, AF_P2, AF_P3 y AF_P4 contiene el caculo del TPD de cada punto de aforo, los datos de campo recolectados fueron tomados cada 15 minutos, estos fueron agregados por hora por tipo de vehículo durante una semana completa, para la estimación del TPD se diferenció el número de días ordinarios (Lunes a Viernes), el número de días Sábado y el número de días Domingo que podrían presentarse en un año, de esta manera entonces el trafico determinado para cada uno de los tres tipos de días se ponderó con pesos diferentes

por tipo de día, estimando 243 días/año ordinarios (L-V), 52 días/año sábado y 70 días/año entre domingos y festivos, para un total de 365 dias.

Teniendo el TPD por cada uno de los puntos de aforo se debe dividir la vía por tramos para así cubrir toda la longitud de la carretera, es por esto que se debe calcular el TPD para cada uno de los tramos según la suposición mostrada en la Tabla 2.

Tabla 2. División por tramos de la vía La Danta

Tramo	Descripción	Suposición
1	Desde P1 hasta la autopista	Aforo en el punto 1
2	Desde P2 hasta P1	Promedio entre el aforo en el punto 1 y el punto 2
3	Dentro de la Danta	Aforo del punto 2
4	Desde P3 hasta P2	Promedio entre el aforo en el punto 2 y el punto 3
5	Desde P4 hasta P3	Promedio entre el aforo en el punto 3 y el punto 4
6	Desde P4 hasta Vereda San Rafael	Aforo del punto 4

C) Cálculo de las emisiones

Para el cálculo de las emisiones aportadas por la via La Danta el principal insumo son los resultados de los aforos vehiculares, ya que la cantidad de polvo varia linealmente con el volumen de tráfico que circule sobre esta que a su vez depende del peso de los vehículos que transiten sobre esta.

Para el cálculo de las emisiones es necesario conocer el peso promedio ponderado de los vehículos que transitan por la vía, por esto se debe suponer el peso promedio para cada una de las categorías vehiculares que transitan por la carretera, en la Tabla 3 se muestran los pesos que fueron supuestos por tipo de vehículo.

Tabla 3. Pesos supuestos por tipo de vehículo

Vehículo	Peso (Ton)
Motos	0,1
Automóviles	1,5
Buses	5

Pesados	18,25
Camiones	18,25

Una vez se tiene el peso ponderado, se calcula el peso promedio ponderado anual, esto teniendo en cuenta la cantidad de días anuales de cada una de las categorías para el año base de inventario, para los días laborales (de lunes a viernes) se asumió 243 días, 52 días sábado y 70 días entre domingos y festivos. Con estos datos se puede calcular el TPD aporte que es el transito que se dio por cada uno de los rangos de días, y así se puede calcular el TPD por cada punto de aforo.

Determinación de la fracción de limo

Las emisiones de polvo en las carreteras sin pavimentar varían directamente con la fracción de limo en el material de la superficie de la carretera. Por lo tanto, una correcta determinación de esta fracción es indispensable para el correcto cálculo de las emisiones, lo ideal para evitar inducir a errores es obtener los datos directamente de la vía mediante un muestreó, para este caso el contenido de limos debió ser supuesto basados en según los parámetros de la EPA. En la Ilustración 1 se muestran los porcentajes de limos de acuerdo al tipo de material predominante en la vía

Table 13.2.2-1. TYPICAL SILT CONTENT VALUES OF SURFACE MATERIAL ON INDUSTRIAL UNPAVED ROADS[a]

Industry	Road Use Or Surface Material	Plant Sites	No. Of Samples	Silt Content (%)	
				Range	Mean
Copper smelting	Plant road	1	3	16 - 19	17
Iron and steel production	Plant road	19	135	0.2 - 19	6.0
Sand and gravel processing	Plant road	1	3	4.1 - 6.0	4.8
	Material storage area	1	1	-	7.1
Stone quarrying and processing	Plant road	2	10	2.4 - 16	10
	Haul road to/from pit	4	20	5.0-15	8.3
Taconite mining and processing	Service road	1	8	2.4 - 7.1	4.3
	Haul road to/from pit	1	12	3.9 - 9.7	5.8
Western surface coal mining	Haul road to/from pit	3	21	2.8 - 18	8.4
	Plant road	2	2	4.9 - 5.3	5.1
	Scraper route	3	10	7.2 - 25	17
	Haul road (freshly graded)	2	5	18 - 29	24
Construction sites	Scraper routes	7	20	0.56-23	8.5
Lumber sawmills	Log yards	2	2	4.8-12	8.4
Municipal solid waste landfills	Disposal routes	4	20	2.2 - 21	6.4

[a]References 1,5-15.

Ilustración 1. Cálculo del porcentaje de limos

Otro parámetro importante para el cálculo del contenido de limo en la vía es la determinación del tipo de vía, teniendo vías públicas donde el transito se da mayormente por vehículos livianos donde el peso promedio ponderado de estos es de entre 1,5 - 3 toneladas y vías industriales donde con un peso vehicular ponderado esta entre 2 - 290 toneladas como se puede observar en la Ilustración 2 propuesta por la EPA para la determinación del tipo de vía

Emission Factor	Surface Silt Content, %	Mean Vehicle Weight	
		Mg	ton
Industrial Roads (Equation 1a)	1.8-25.2	1.8-260	2-290
Public Roads (Equation 1b)	1.8-35	1.4-2.7	1.5-3

Ilustración 2. Condiciones de peso para la determinación del tipo de vía

Para vías no pavimentadas industriales donde no se tengan datos puntuales por muestreo en el sitio, se sacan de la tabla propuesta por la EPA de valores típicos contenido de limo en el material de la superficie de la carretera.

Factores de emisión

Para la cuantificación de PM10, PM2.5 y PST, se hace uso de la expresión empírica para estimar la cantidad en gramos de emisiones de partículas de tamaño especifico de una carretera sin pavimentar, por metro recorrido por vehículo.

Para vehículos que transitan por carreteras industriales las emisiones se estiman con la siguiente ecuación:

Ecuación 1 Factor de emisión para carreteras industriales

$$E = k\,(\frac{s}{12})^{a}(\frac{e}{3})^{b}$$

Donde k, a y b son constantes empíricas que se muestran en la Ilustración 3

E: Factor de emisión especifico
S: contenido de limo del material de la superficie
W: peso medio del vehículo

Para vehículos que transitan por vías públicas, que predominan vehículos ligeros, las emisiones se estiman con la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Estimación de emisiones para vias publicas

$$E = \frac{k(s/12)^a \left(\frac{S}{30}\right)^d}{\left(\frac{M}{0,5}\right)^c} - C$$

Donde k, a, b, c y d son constantes

E: Factor de emisión especifico
s: contenido de limo del material de la superficie
W: peso medio del vehículo
M: contenido de humedad del material de la superficie
S: velocidad media del vehículo
C: Factor de emisión para el escape de la flota de vehículos de los años 1980, desgaste de frenos y desgaste de neumáticos.

Las constantes de la Ecuación 1 y Ecuación 2 son constantes empíricas basadas en partículas aerodinámicas y se muestran en la

Constant	Industrial Roads (Equation 1a)			Public Roads (Equation 1b)		
	PM-2.5	PM-10	PM-30*	PM-2.5	PM-10	PM-30*
k (lb/VMT)	0.15	1.5	4.9	0.18	1.8	6.0
a	0.9	0.9	0.7	1	1	1
b	0.45	0.45	0.45	-	-	-
c	-	-	-	0.2	0.2	0.3
d	-	-	-	0.5	0.5	0.3
Quality Rating	B	B	B	B	B	B

Ilustración 3. Constantes para las ecuaciones 1 y 2

Debe tenerse en cuenta que según las estimaciones realizadas de peso promedio ponderado para la flota vehicular que transita para cada tramo de vía (Ver Hoja *INV_EMI* del *Anexo 1. TPD_INV.xlsx*) se encuentra entre 3.6 y 8 Mg, la ecuación de vías públicas se recomienda para un rango de peso de 1.4 a 2.7 Mg (Ver Ilustración 4), es decir cuando la vía está dominada por tráfico ligero, para el caso de la vía de la danta, esta se comporta como una vía dominada por trafico pesado y por tanto sus emisiones se estiman como si fuera una vía industrial.

Table 13.2.2-3. RANGE OF SOURCE CONDITIONS USED IN DEVELOPING EQUATION 1a AND 1b

Emission Factor	Surface Silt Content, %	Mean Vehicle Weight		Mean Vehicle Speed		Mean No. of Wheels	Surface Moisture Content, %
		Mg	ton	km/hr	mph		
Industrial Roads (Equation 1a)	1.8-25.2	1.8-260	2-290	8-69	5-43	4-17[a]	0.03-13
Public Roads (Equation 1b)	1.8-35	1.4-2.7	1.5-3	16-88	10-55	4-4.8	0.03-13

Ilustración 4. Rangos de uso de las ecuaciones 1 y 2

Control natural por lluvia sobre la vía

Sobre la carretera se pueden presentar mitigadores naturales que contribuyen a reducir las emisiones atmosféricas, una de estas es la precipitación, dado que la cantidad de humedad presenta en el material de la superficie de la carretera influye directamente sobre la resuspensión de partículas a la atmosfera, bajo el supuesto de que las emisiones medias anuales son inversamente proporcionales al número de días con emisiones medibles. Por lo tanto, es necesario determinar cuánto influye este parámetro, para calcular la mitigación natural dada por la precipitación se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Factor de emisión por mitigación natural

$$E_{ext} = E[\frac{365 - P}{365}]$$

E_{ext}: factor de emisión anual específico por tamaño extrapolado para la mitigación natural
E: Factor de emisión
P: número de días en un año con al menos 0,254 mm (0,01 pulgadas) de precipitación

Esta ecuación proporciona una estimación teniendo en cuenta la precipitación sobre una base promedio anual para el propósito del inventario de emisiones, por lo tanto, se tomaron los datos de las estaciones meteorológicas Claro de Luna con código 23070010 y Rio Claro con código 23075010.

3. RESULTADOS

Los resultados se presentan en tres secciones, los resultados del aforo vehicular por cada punto, los resultados del TPD estimado y el cálculo de las emisiones de la vía.

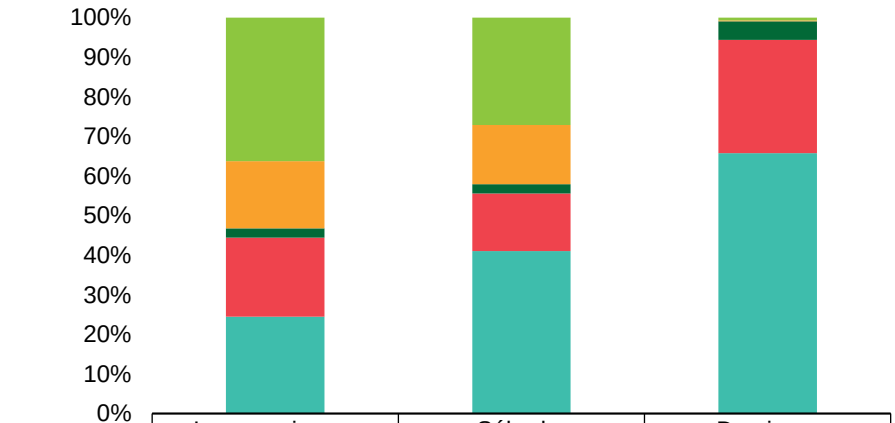
3.1 AFOROS VEHICULARES

Los aforos vehiculares sobre la vía La Danta se realizaron sobre 4 puntos estratégicos recolectando información del tránsito vehicular por 7 días y 24 horas, a continuación, se muestran los resultados del tránsito vehicular promedio por categoría, además del perfil de tránsito vehicular por hora para cada punto de aforo teniendo en cuenta los días laborales, sábado y domingo o festivo para cada punto.

3.1.1 Punto 1

En la Figura 1 se muestran los resultados del promedio vehicular por tipo de vehículo para el punto 1 de aforo. Se puede observar como en los días laborales el mayor tránsito este dado por vehículos pesados con un promedio 301.75 lo cual concuerda con las actividades económicas desarrolladas en la zona, para el sábado se puede observar como el tránsito de pesados y camiones disminuye con 199 y 110 y las motos son el vehículo más utilizado con un promedio de 301, por su parte el domingo disminuye considerablemente el tránsito de pesados y camiones siendo estos en promedio de 2.5 y 1 respectivamente. Para los automóviles el tránsito se mantiene similar para las tres categorías de días, y el mismo comportamiento lo presentan los buses.

En la Figura 2, Figura 3 y Figura 4, se muestra el perfil de tránsito vehicular por hora y por tipo de vehículo, donde para los días laborales se muestra un tránsito similar entre las 6:00 am y las 6:00 pm donde luego comienza a disminuir, esto concuerda con los horarios laborales. Para el sábado se observa como a partir del mediodía comienza a disminuir el tránsito. Por su parte para el domingo el transito es bajo y constante entre las 6:00 am y las 8:00 pm.



	Lunes - viernes	Sábado	Domingo
Pesados	301.75	199	2.5
Camiones	141	110	1
Buses	19.5	17	17
Automóvil	166	107	103.67
Moto	203.75	301	239

Figura 1. Resultados del aforo vehicular en el punto 1

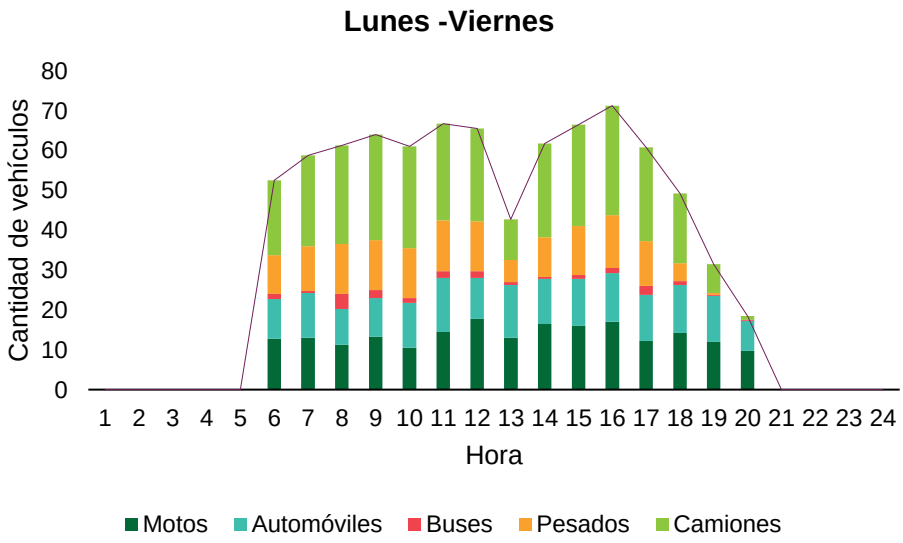


Figura 2. Perfil vehicular por hora para días laborales

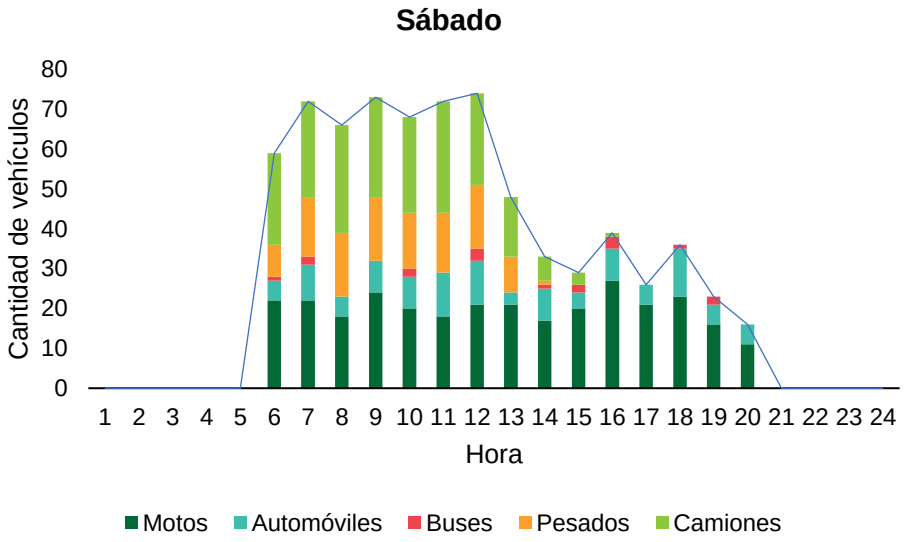


Figura 3. Perfil vehicular por hora para el sábado

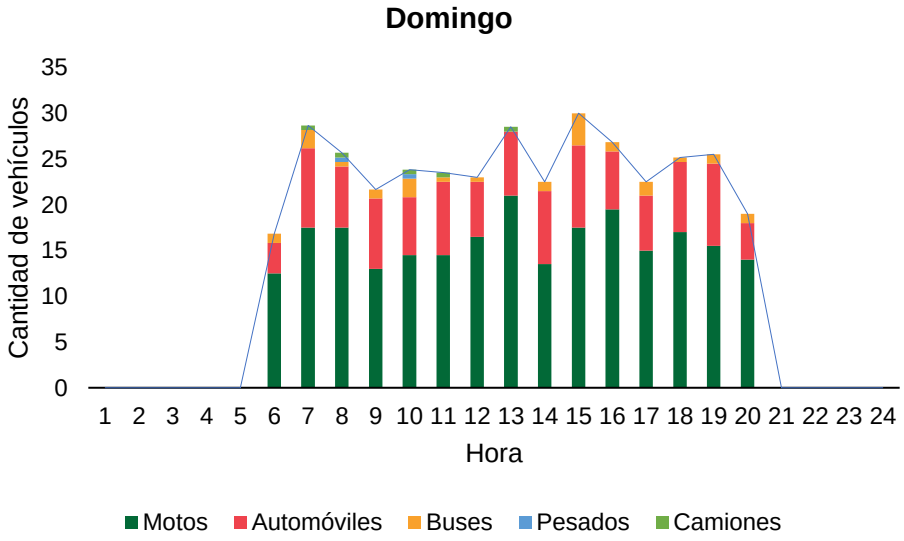


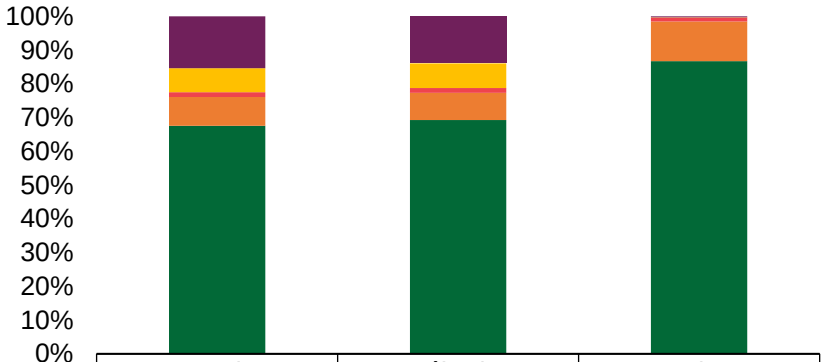
Figura 4. Perfil vehicular por hora para el domingo

3.1.2 Punto 2

En la Figura 5 se puede observar el promedio de tránsito vehicular para el sábado en el punto de aforo 2. Para las tres categorías de días, las motos presentan el mayor tránsito estando muy por encima del resto de categorías vehiculares, seguido por los camiones que

los días laborales y sábado presentan un promedio de tránsito de 302.5 y 210 vehículos pesados respectivamente y siento mínima los domingos con un promedio de 4.5, comportamiento similar al presentado por los camiones. Por su parte los buses y automóviles presentan una tendencia de movilidad similar para todos los días.

En las figuras Figura 6, Figura 7 y Figura 8 se muestra los perfiles de tránsito vehicular por hora para cada categoría de día y tipo de vehículo. Para los días laborales se puede observar que el transito es relativamente constante desde las 6:00 am a 7:00 pm con un pico de disminución a la 1:00 pm. Los sábados presentan alto tráfico entre las 7:00 am y hasta el mediodía, a partir de esa hora comienza a disminuir el tráfico. Por su parte para el domingo se presenta un tráfico bajo y constante entre las 7:00 am y 7:00 pm.



	Lunes - viernes	Sábado	Domingo
Pesados	302.5	210	4.5
Camiones	141.5	110	0.5
Buses	28.25	22	16.5
Automóvil	167.25	121	165
Moto	1335	1045	1222

Figura 5. Resultados del aforo vehicular en el punto 2

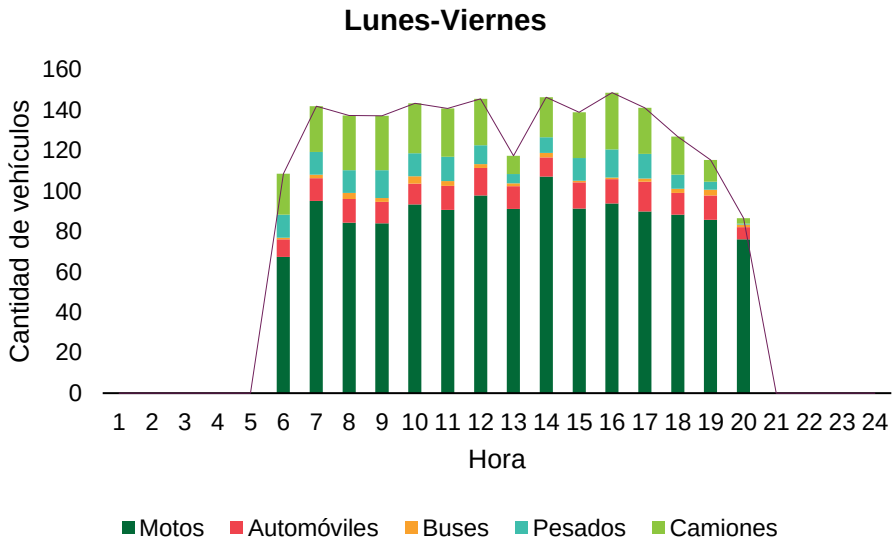


Figura 6. Perfil vehicular por hora para días laborales

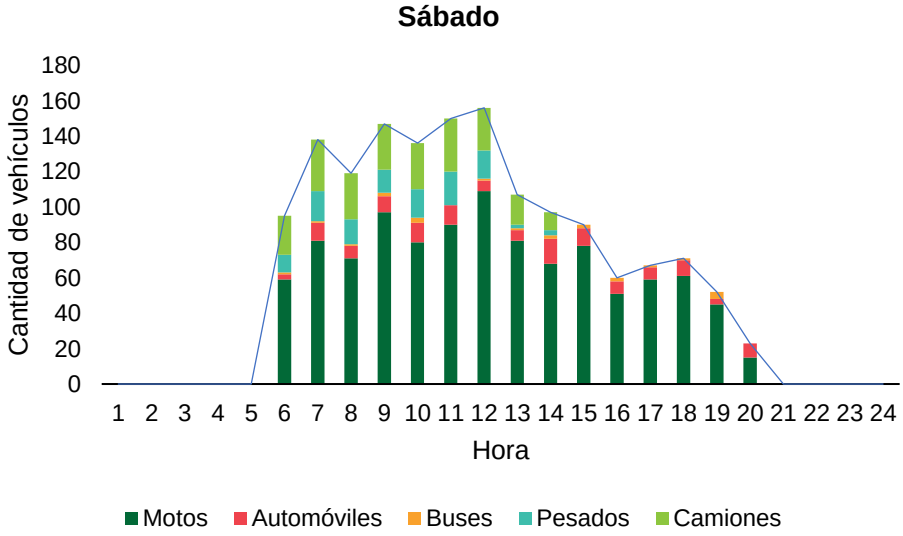


Figura 7. Perfil vehicular por hora para el sábado

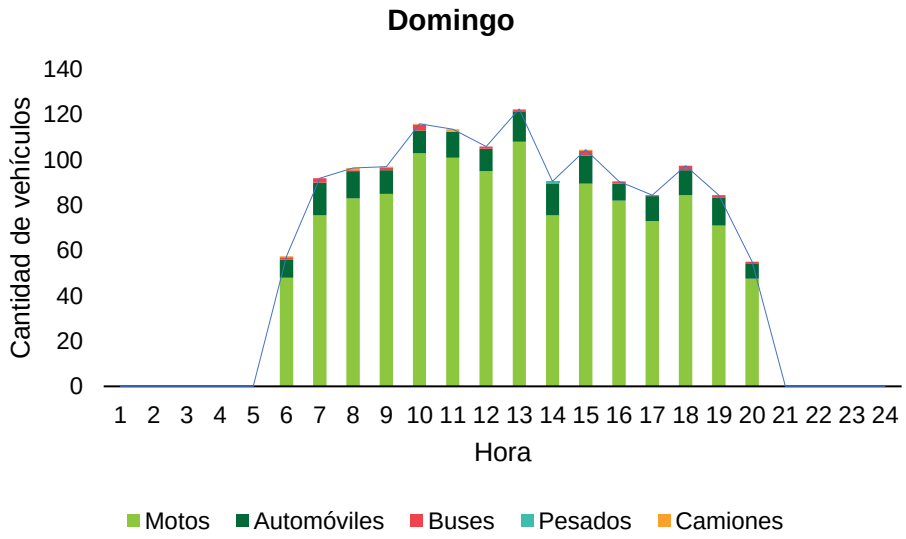
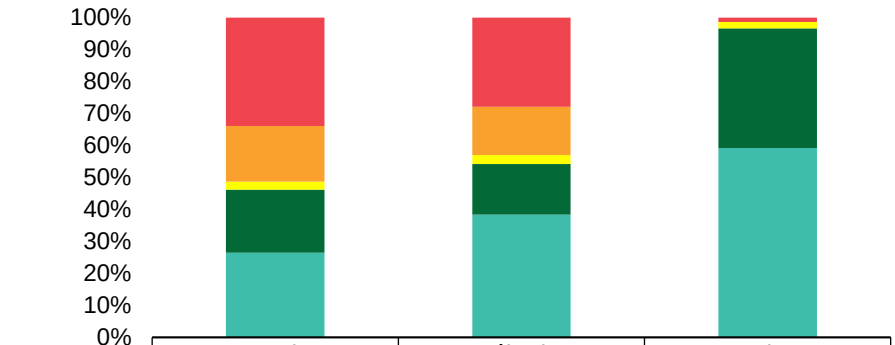


Figura 8. Perfil vehicular por hora para el domingo

3.1.3 Punto 3

En la Figura 9 se observa que en los días laborales el vehículo que más transito la vía fueron los pesados con un promedio de 268.25 seguido de las motos con 209.8, luego, el tránsito de automóviles y camiones con 156.75 y 138,25 respectivamente y por ultimo los buses con 19,75. Para el sábado aumenta el tránsito de motos y disminuye el de pesados con 267 y 194 respectivamente, los camiones pasaron a tener un promedio de 105 y los automóviles de 110, los buses se mantienen con un promedio de 19. Por su parte el domingo los vehículos más transitados corresponde a motos y automóviles, los pesados disminuyen considerablemente con un promedio de 5,5.

En la Figura 10, Figura 11 y Figura 12 se muestran los perfiles de tránsito vehicular para cada categoría de día. Para los días laborales se muestra un tránsito frecuente entre las 7:00 am y las 6:00 pm, teniendo un punto de inflexión a la 1:00 pm. el sábado se presenta un alto tránsito en el horario entre las 7:00 am y las 12:00 m, luego de esta hora disminuye significativamente el tráfico. El domingo se presenta un tráfico constante entre las 7:00 am y las 8:00 pm.



	Lunes - viernes	Sábado	Domingo
Pesados	268.25	194	5.5
Camiones	138.25	105	0
Buses	19.75	19	8
Automóvil	156.75	110	153
Moto	209.8	267	242

Figura 9. Resultados del aforo vehicular en el punto 3

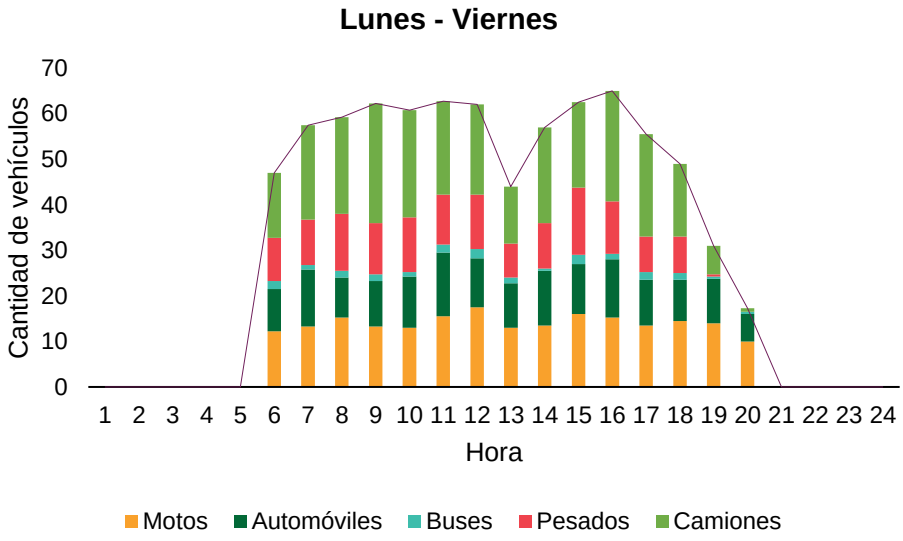


Figura 10. Perfil vehicular por hora para días laborales

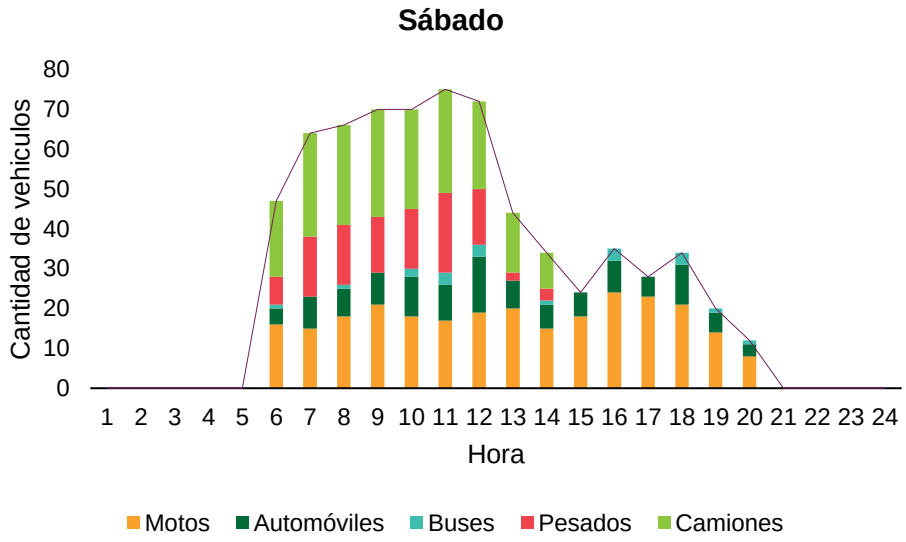


Figura 11. Perfil vehicular por hora para el sábado

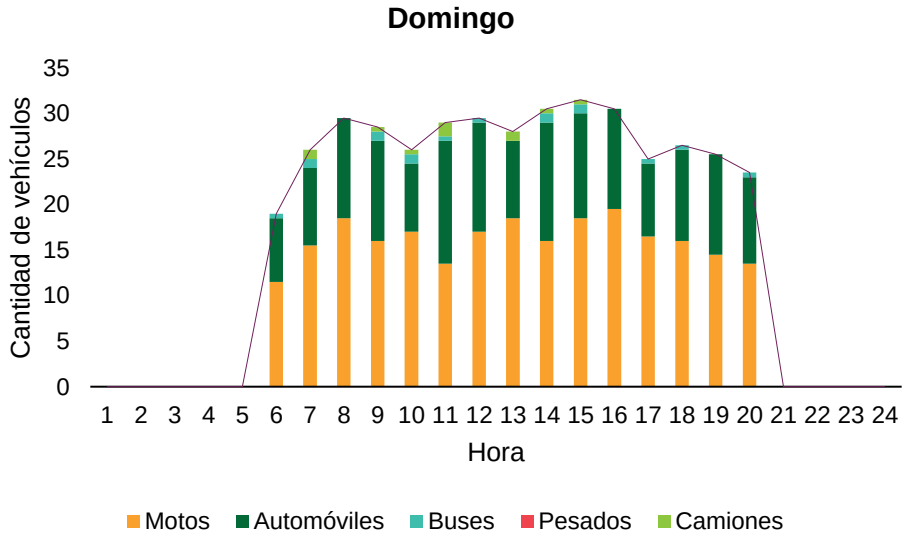
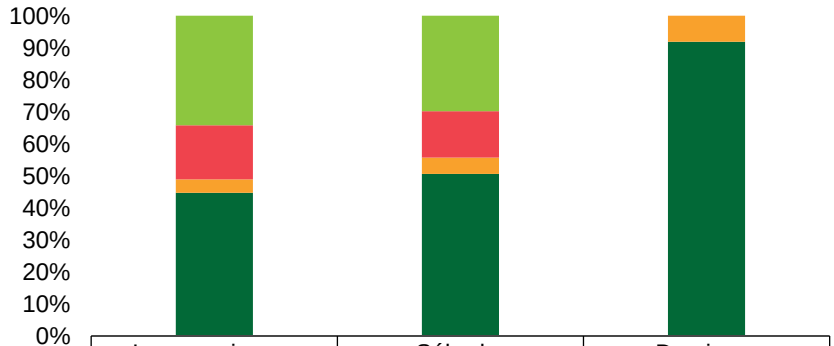


Figura 12. Perfil vehicular por hora para el domingo

3.1.4 Punto 4

En la Figura 13 se muestra la cantidad de vehículos que transitaron por la vía en cada grupo de días. para los días laborales los vehículos más transitados son las motos con un promedio de 131,3 y pesados con 100,5, comportamiento similar al presentado el sábado donde en promedio transitaron 119 motos y 70 pesados. El domingo el vehículo más transitado fueron motos con 124, seguido de 11 automóviles y no se registró tránsito de otra categoría.

En las figuras Figura 14, Figura 15 y Figura 16 se muestran los perfiles de tránsito vehicular en punto de aforo. Los días laborales se observa un aumento del tránsito entre las 6:00 am y las 12:00 m, disminuyendo abruptamente el tránsito a la 1:00 pm para luego comenzar a aumentar hasta el punto máximo a las 5:00 pm y comenzar a disminuir. El sábado se presenta un tránsito vehicular alto entre las 7:00 am y el medio día, a partir de esta hora comienza a disminuir gradualmente. El domingo se presenta un tránsito semejante entre las 7:00 am y las 7:00 pm.



	Lunes - viernes	Sábado	Domingo
Pesados	100.5	70	0
Camiones	49.5	34	0
Buses	0	0	0
Automóvil	12.25	12	11
Moto	131.3	119	124

Figura 13. Resultados del aforo vehicular en el punto 4

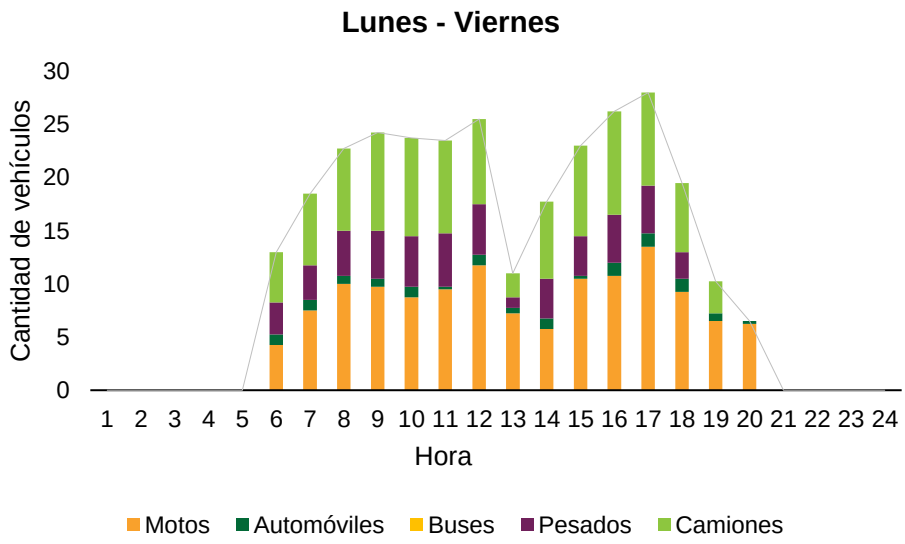


Figura 14. Perfil vehicular por hora para días laborales

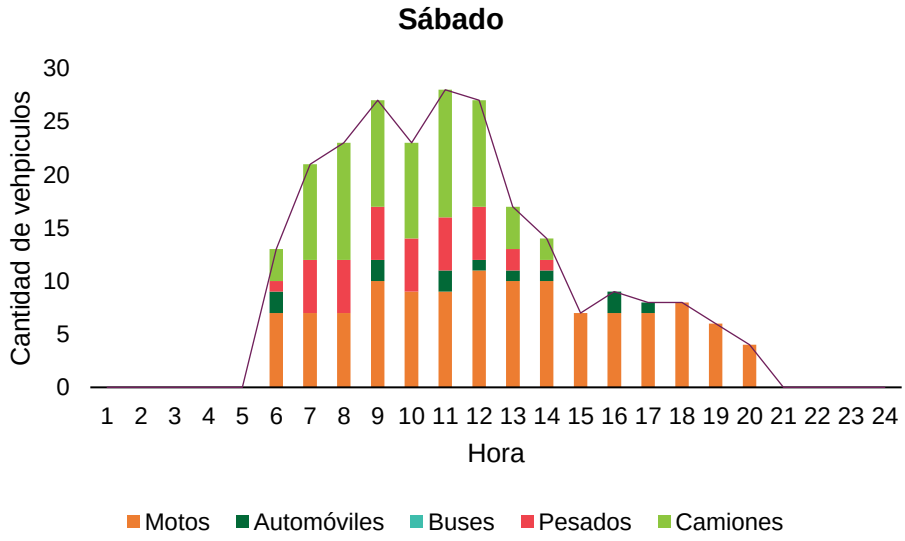


Figura 15. Perfil vehicular por hora para el sábado

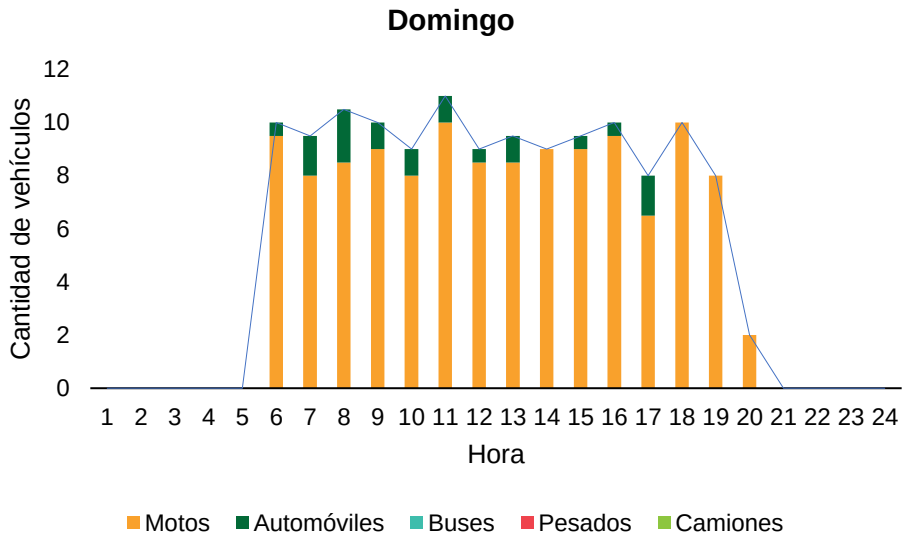


Figura 16. Perfil vehicular por hora para el domingo

Se puede observar que para los 4 puntos de aforo la dinámica de tránsito es similar, en días laborales la vía es más transitada en horarios que corresponden a horarios laborales teniendo un disminución en a la 1:00 pm en, además que el mayor tráfico esta dado por camiones y pesados, los días sábados se presenta alto tráfico en las horas de la mañana y hasta el mediodía, lo cual también es correspondiente a horarios laborales ya que el tránsito de pesados y camiones es alto, en las horas de la tarde disminuye el tráfico y los vehículos más transitados son motos y automóviles. Para el domingo el tráfico es dominado por motos y automóviles. Los comportamientos de los 4 puntos son similares y varía el promedio de vehículos.

3.2 CÁLCULO DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD) Y EL PESO PROMEDIO PONDERADO

El TPD se calculo con los datos obtenidos del aforo vehicular para cada uno de los tramos viales, en la Tabla 4 se muestra el TPD para cada uno de los tramos de la vía. Así mismo en la Figura 17 se puede observar el comportamiento sobre la vía siendo en el tramo 3 el mayor tránsito.

Asi mismo el peso promedio ponderado se baso en los pesos propuestos ponderados por el porcentaje de cada tipo de vehículo descrito en la Tabla 3.

Tabla 4. TPD para cada tramo de la vía

Tramo	Peso ponderado (Ton)	TPD
1	8.08	615.94
2	5.83	889.65
3	3.57	1163.35
4	5.73	878.22
5	7.69	391.90
6	7.49	190.71

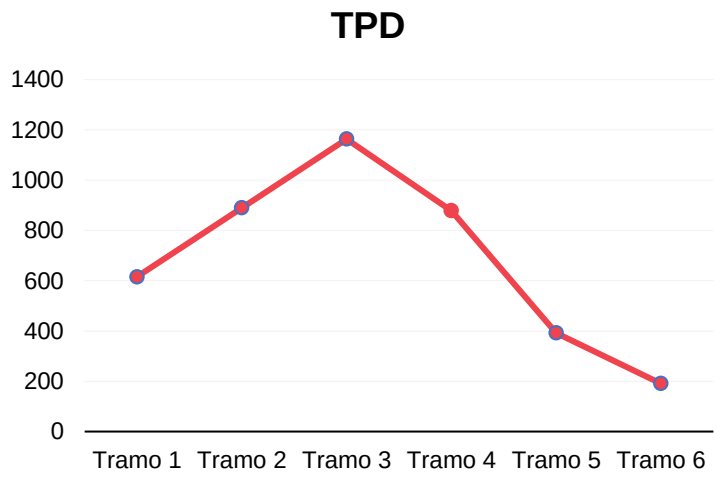


Figura 17. TPD por cada tramo de la vía

3.3 CALCULO DE EMISIONES

De la Tabla 4 se puede observar que el peso promedio ponderado ese encuentra entre 3.57 y 8.8 Ton, por lo tanto la vía La Danta a pesar de ser una vía pública, el tráfico vehicular que predomina es de vehículos pesados, por lo tanto, se trató como una vía industrial y los cálculos se realizaron bajo este supuesto y las constantes para el cálculo del factor de emisión se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5. Constantes para el cálculo del factor de emisión para vías industriales

	Contaminante		
Constante	PST	PM10	PM2.5
k	4.9	1.5	0.15

Constante	Contaminante		
	PST	PM10	PM2.5
a	0.7	0.9	0.9
b	0.45	0.45	0.45

Por su parte para el calculo de limos en el material de la superficie de la carretera se tomo el promedio entre procesamiento de arena y grava y extracción y procesamiento de piedra, teniendo así un porcentaje de limos de 7,55%.

Teniendo los datos anteriores se calculo el nivel de actividad en vehículo kilometro viajado para cada uno de los tramos de la vía como se muestra a en la Tabla 6.

Tabla 6. Nivel de actividad para cada tramo de la vía

Tramo	Nivel de actividad (VKT/día)
1	1401.94
2	8071.89
3	577.32
4	733.26
5	2181.52
6	753.20

A continuación, en la Tabla 7 se muestra el cálculo de las emisiones por contaminantes para cada uno de los tramos de la vía, así como el aporte total de la vía La Danta.

Tabla 7. emisiones por tipo de contaminante para cada tramo de la vía

Tramo	Emisiones		
	PM_{10} (Ton/Año)	$PM_{2.5}$ (Ton/año)	PST (Ton/año)
1	232.69	23.27	833.93
2	1156.43	115.64	4144.47
3	66.37	6.64	237.86
4	104.28	10.43	373.71
5	354.11	35.41	1269.10
6	120.82	12.08	433.01
Total	2034.70	203.47	7292.09

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La composición del tráfico vehicular es similar en los cuatro puntos de aforo. Esto sugiere que, a pesar de las ubicaciones geográficas diferentes, existen patrones comunes en cuanto al comportamiento del tráfico en estos puntos específicos. los días laborales presentan un mayor tránsito de vehículos pesados en todos los puntos de aforo, esto sugiere una correlación entre la actividad económica y el aumento en la presencia de vehículos de carga, posiblemente debido al transporte de mercancías y suministros durante la semana laboral. En general, las motocicletas son el vehículo más transitado por la zona, siendo la distribución de los otros tipos de vehículos más uniforme tanto en días laborales como fines de semana.

- Se recomienda tomar acciones en la vía La Danta tendientes a disminuir las emisiones, estas pueden ir encaminadas a la pavimentación de la vía, riego, placa huellas, u otras estrategias de control, en el caso de que se opte por la pavimentación es de tenerse en cuenta que como los principales aportantes son vehículos pesados de trasporte de minerales la vía podría ensuciarse, aumentando la carga de finos y sin un plan de limpieza de la vía los problemas de calidad del aire podrían no solucionarse.
- Se recomienda imponer obligaciones a los usuarios industriales de la vía La Danta que permitan una mejor caracterización de la vía, tales como aforos diferenciados, muestreos del contenido de finos, planes de riego de la vía, entre otros, según el aporte de cada uno de los usuarios al TPD.