UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

"Propuesta de tarificación vial para reducir congestión vehicular sobre la Vía de Evitamiento en el segmento del Trébol de Javier Prado – Av. Nicolás Ayllón"

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Cortegana Abad, Aldo Antonio (0000-0003-4739-6236)

Rodriguez Perez, Sandy Fiorella (0000-0002-1074-4682)

ASESOR

Sánchez Navarro, Alex Manuel (0000-0001-7125-2529)

Lima, 15 de setiembre de 2024

DEDICATORIA

El presente proyecto de Tesis va dirigido a mi madre, Teodolinda Abad, por su amor y esfuerzo en todo momento de mi vida. También a mi novia, María Eugenia Purilla, por su amor y apoyo incondicional.

Aldo Antonio Cortegana Abad

Dedico este estudio a mis padres, por el enorme respaldo que me brindaron durante toda mi trayectoria profesional. Son los pilares de mi vida, maestros y ejemplos de vida.

Sandy Fiorella Rodríguez Pérez

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres por el amor, apoyo y los buenos valores que nos inculcaron a lo largo de nuestras vidas.

A nuestros profesores por ser nuestros guías y por brindarnos las herramientas y dedicación que nos hizo amar más esta hermosa carrera de Ingeniería Civil.

Por último, a nuestro Asesor, Ing. PhD. Alex Manuel Sánchez Navarro por su apoyo y guía en toda etapa de nuestra investigación.

RESUMEN

La presente investigación aborda la problemática de la congestión vehicular en la Vía Evitamiento, proponiendo la tarificación vial como solución viable y sostenible. El estudio se centró en evaluar el impacto de un cobro variable de peajes en distintos horarios para disminuir el tráfico, considerando la falta de medidas eficaces en el pasado. El método abarcó cuestionarios de preferencias manifestadas y aclaradas a 400 conductores de vehículos ligeros y pesados, evaluando su predisposición a cambiar horarios, rutas o formas de transporte frente a fluctuaciones en las tarifas. Se plantearon escenarios con incrementos y descuentos en los peajes, obteniendo como resultado que un aumento del 20% en las tarifas durante las horas pico podría reducir el flujo vehicular en un 18%, mejorando el nivel de servicio de E a C e incrementando la velocidad promedio en un 15%. Asimismo, un descuento del 15% en horas valle incentivaría el uso de la vía en periodos de menor demanda, distribuyendo mejor el tránsito durante el día. Este enfoque refleja una elasticidad precio-demanda significativa, especialmente en usuarios frecuentes de la vía. La investigación concluye que la tarificación vial, como estrategia de administración de la necesidad de transporte, es efectiva para mitigar la congestión, optimizando el uso de la infraestructura, reduciendo tiempos de viaje y emisiones, y promoviendo un tránsito más fluido sin requerir una alta inversión económica.

Palabras clave: Tarificación vial; congestión vehicular; elasticidad; nivel de servicio; flujo vehicular.

Proposal of road pricing to reduce vehicle congestion on Evitamiento highway – Javier Prado Clover – Nicolas Ayllon Avenue.

ABSTRACT

This research addresses the problem of traffic congestion on the Vía Evitamiento, proposing road pricing as a viable and sustainable solution. The study focused on evaluating the impact of variable toll collection at different times to reduce traffic, considering the lack of effective measures in the past. The methodology included surveys of declared and revealed preferences carried out on 400 drivers of light and heavy vehicles, analyzing their willingness to modify schedules, routes or modes of transport in the face of tariff variations. Scenarios with increases and discounts on tolls were proposed, obtaining as a result that a 20% increase in rates during peak hours could reduce vehicle flow by 18%, improving the level of service from E to C and increasing the average speed by 15%. Likewise, a 15% discount during off-peak hours would encourage the use of the road during periods of lower demand, distributing traffic better during the day. This approach reflects a significant price-demand elasticity, especially among frequent users of the road. The research concludes that road pricing, as a transport demand management measure, is effective in mitigating congestion, optimizing the use of infrastructure, reducing travel times and emissions, and promoting smoother traffic without requiring a high economic investment.

Keywords: Road pricing; traffic congestion; elasticity; level of service; traffic flow

u201313140_Cortegana Abad Aldo Antonio_Propuesta de tarificación vial para reducir congestión vehicular sobre la Vía de Evitamiento en el segmento del Trébol de Javier Prado – Av. Nicolás Ayllón

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%	14%	5%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.iaeme.com Fuente de Internet	3%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Aeres Hogeschool Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Universidad Cooperativa de Colombia Trabajo del estudiante	<1%
9	repositorio.uptc.edu.co Fuente de Internet	<1%
10	www.bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1%

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1 Realidad problemática 1

1.2 Formulación del problema 4

1.3 Justificación 5

1.4 Hipótesis 6

1.5 Objetivo General 6

1.6 Objetivos Específicos 6

2. ESTADO DEL ARTE 7

3. MARCO TEÓRICO 13

3.1. Gestión de la Demanda del Transporte 13

3.1.1 Medidas económicas 13

3.2. Tarificación Vial 14

3.3. Encuestas - Técnicas de preferencias declaradas 16

3.3.1 Características generales del diseño experimental de preferencias declaradas 17

3.4. Elasticidad 21

3.5. Nivel de Servicio 22

4. METODOLOGÍA 29

4.1 Planteamiento de Escenarios 29

4.2 Recolección de Datos Vehiculares 29

4.2.1 Procesamiento de Datos Vehiculares 29

4.3 Encuestas de Preferencias Declaradas y Reveladas 30

4.3.1 Elaboración del Formato de la Encuesta 31

4.3.2 Encuesta 31

4.3.3 Procesamientos de Datos de Encuestas 31
4.4 Determinación de Elasticidad de Usuarios 31
4.5 Cálculo de Niveles de Servicio 32
5. COLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS 35
5.1. Procesamiento de datos vehiculares 35
5.1.1. Gráficos del flujo vehicular 35
5.1.3. Gráfico de congestión por tipo de vehículo 42
5.1.4. Gráfico de congestión por horas 43
6. CÁLCULO DE NIVEL DE SERVICIO ACTUAL 44
6.1 Validación de la viabilidad de usar tablas de otras vías (caso: Manizales) en la evaluación de la tarificación vial en Lima 54
6.1.1 Comparación de Infraestructura Vial y Condiciones Topográficas 55
6.1.2 Comparación de Infraestructura Vial y Condiciones Topográficas 56
6.1.3 Impacto Potencial de la Tarificación Vial en Lima Basado en Datos de Manizales 57
6.1.4 Justificación del uso de datos de Manizales en el modelo de simulación para Lima 58
7. CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA 60
8. FORMATO DE LA ENCUESTA 62
8.1. Realización de preguntas de preferencias reveladas 62
8.1.1. Preguntas para conductores de vehículos ligeros 62
8.1.2. Preguntas para conductores de vehículos pesados 62
8.1.2.1. Relevancia del número de ejes para el estudio 63
8.1.3. Preguntas para usuarios de transporte público 64
8.2. Realización de preguntas de preferencias declaradas 64
8.2.1. Preguntas para conductores de vehículos ligeros 64

8.2.2. Preguntas para conductores de vehículos pesados 65

8.2.3. Preguntas para usuarios de transporte público 66

9. PROCESAMIENTO DE ENCUESTAS 67

9.1. Data y gráficos de encuestas para conductores de vehículos ligeros 67

9.2. Data y gráficos de encuestas para conductores de vehículos pesados 72

9.4. Discusión de los resultados 80

9.4.1. Ligero 80

9.4.2. Pesado 81

9.4.3. Público 81

10. ESTIMACIÓN DE ELASTICIDADES 82

10.1. Elasticidades en vehículos ligeros de Sur a Norte 82

10.1.1. Elasticidad en Hora Pico 82

10.1.2. Elasticidad en Hora No Pico 83

10.2. Elasticidades en vehículos pesados de Sur a Norte 84

10.2.1. Elasticidad en Hora Pico 84

10.2.2. Elasticidad en Hora No Pico 86

10.3. Elasticidades en vehículos Ligeros de Norte a Sur 87

10.3.1. Elasticidad en Hora Pico 87

10.3.2. Elasticidad en Hora No Pico 88

10.4. Elasticidades en vehículos Pesados de Norte a Sur 89

10.4.1. Elasticidad en Hora Pico 89

10.4.2. Elasticidad en Hora No Pico 90

11. CÁLCULO DE NIVEL DE SERVICIO CON TARIFA DE PEAJE VARIABLE 94

12. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 104

12.1. Nivel de Servicio Actual 104

12.2. Elasticidad de la demanda 105

12.3. Nivel de Servicio con Tarificación Vial 105

13. CONCLUSIONES 108

REFERENCIAS 111

ANEXOS 121

Anexo A. Gráfico de congestión por categoría de vehículo 121

Anexo B. Gráficos de congestión por tipo de vehículos de lunes a domingo en el sentido de Sur – Norte 125

Anexo C. Gráficos de congestión por tipo de vehículos de lunes a domingo en el sentido de Norte - Sur 129

Anexo D. Gráficos de congestión por horas de lunes a domingo en el sentido de Sur – Norte . 133

Anexo E. Gráficos de congestión por horas de lunes a domingo en el sentido de Norte – Sur.. 137

Lista de Tablas

Tabla 1 Variación del volumen vehicular con respecto al día de mayor volumen en el sentido Sur – Norte. 37

Tabla 2 Variación del volumen vehicular con respecto al día de mayor volumen en el sentido Norte – Sur. 37

Tabla 3 Volúmenes según categoría de vehículo durante la semana el sentido Sur – Norte..... 41

Tabla 4 Volúmenes según categoría de vehículo durante la semana el sentido Norte – Sur..... 41

Tabla 5 Porcentajes de las categorías de vehículos durante la semana en el sentido Sur – Norte 42

Tabla 6 Porcentajes de las categorías de vehículos durante la semana en el sentido Norte – Sur 42

Tabla 7 Volúmenes de las horas pico en el sentido Sur – Norte..... 44

Tabla 8 Volúmenes de las horas pico en el sentido Norte – Sur..... 44

Tabla 9 Horas pico en el sentido Sur – Norte. 44

Tabla 10 Horas pico en el sentido Norte – Sur. 45

Tabla 11 Volumen máximo de los 15 minutos en la hora pico en el sentido Sur – Norte. 45

Tabla 12 Volumen máximo de los 15 minutos en la hora pico en el sentido Norte – Sur. 46

Tabla 13 Factor de la hora pico en el sentido Sur – Norte..... 46

Tabla 14 Factor de la hora pico en el sentido Norte – Sur..... 46

Tabla 15 Ajuste del factor por automóviles de carga pesada en la dirección Sur-Norte 49

Tabla 16 Factor de ajuste por vehículos pesados en el sentido Norte – Sur..... 49

Tabla 17 Tasa de flujo en el sentido Sur – Norte..... 50

Tabla 18 Tasa de flujo en el sentido Norte – Sur..... 50

Tabla 19 Velocidad promedio de viaje el sentido Sur – Norte 52

Tabla 20 Velocidad promedio de viaje el sentido Norte – Sur 52

Tabla 21 Densidad de flujo en el sentido Sur – Norte 53

Tabla 22 Densidad de flujo en el sentido Norte – Sur. 53

Tabla 23 Criterio de densidad para determinar los niveles de servicio en carreteras multicarril . 53

Tabla 24 Nivel de Servicio en el sentido Sur – Norte..... 54

Tabla 25 Nivel de Servicio en el sentido Norte – Sur..... 54

Tabla 26 Contrastación de características de ambas vías. 55

Tabla 27 Volumen vehicular de ambas vías. 56

Tabla 28 Elasticidad precio-demanda de ambas vías. 57

Tabla 29 Nivel de confianza y valor crítico..... 60

Tabla 30 Porcentaje transitado según las encuestas de vehículos ligeros para nuevo nivel de servicio. 94

Tabla 31 Porcentaje transitado según las encuestas de vehículos pesados para nuevo nivel de servicio. 94

Tabla 32 Volúmenes de las horas pico en el sentido Sur – Norte..... 95

Tabla 33 Volúmenes de las horas pico en el sentido Norte – Sur..... 95

Tabla 34 Horas pico en el sentido Sur – Norte 95

Tabla 35 Horas pico en el sentido Norte – Sur 96

Tabla 36 Volumen máximo de los 15 minutos en la hora pico en el sentido Sur – Norte. 96

Tabla 37 Volumen máximo de los 15 minutos en la hora pico en el sentido Norte – Sur. 97

Tabla 38 Factor de la hora pico en el sentido Sur – Norte..... 97

Tabla 39 Factor de la hora pico en el sentido Norte – Sur..... 97

Tabla 40 Factor de ajuste por vehículos pesados en el sentido Sur – Norte..... 98

Tabla 41 Factor de ajuste por vehículos pesados en el sentido Norte – Sur..... 98

Tabla 42 Tasa de flujo en el sentido Sur – Norte 99

Tabla 43 Tasa de flujo en el sentido Norte – Sur 99

Tabla 44 Velocidad promedio de viaje el sentido Sur – Norte 100

Tabla 45 Velocidad promedio de viaje el sentido Norte – Sur 100

Tabla 46 Densidad de flujo en el sentido Sur – Norte 100

Tabla 47 Densidad de flujo en el sentido Norte – Sur 101

Tabla 48 Nivel de Servicio en el sentido Sur – Norte 101

Tabla 49 Nivel de Servicio en el sentido Norte – Sur 102

Tabla 50 Nivel de Servicio Actuales vs Nivel de Servicio con Tarificación Vial, sentido Sur – Norte 102

Tabla 51 Nivel de Servicio Actuales vs Nivel de Servicio con Tarificación Vial, sentido Norte – Sur 103

Tabla 52 Nivel de Servicio en el sentido Sur – Norte 104

Tabla 53 Nivel de Servicio en el sentido Norte – Sur 105

Tabla 54 Resumen de las elasticidades calculadas. 105

Tabla 55 Nivel de Servicio Actuales vs Nivel de Servicio con Tarificación Vial, sentido Sur – Norte 106

Tabla 56 Nivel de Servicio Actuales vs Nivel de Servicio con Tarificación Vial, sentido Norte – Sur 106

Lista de Figuras

Figura 1 Esquema de la cantidad demandada vs el costo 15

Figura 2 Nivel de servicio A 23

Figura 3 Nivel de Servicio B 24

Figura 4 Nivel de Servicio C 25

Figura 5 Nivel de Servicio D 26

Figura 6 Nivel de servicio E 27

Figura 7 Nivel de Servicio F 27

Figura 8 Diagrama de flujo del procedimiento a realizar 34

Figura 9 Distribución de volúmenes diarios durante la semana (Sur – Norte) 36

Figura 10 Distribución de volúmenes diarios durante la semana (Norte – Sur) 36

Figura 11 Curva de tendencia comparativa entre volúmenes totales, vehículos ligeros, pesados y públicos durante la semana en el sentido Sur – Norte 38

Figura 12 Curva de tendencia comparativa entre volúmenes totales, vehículos ligeros, pesados y públicos durante la semana en el sentido Norte – Sur 39

Figura 13 Distribución de vehículos ligeros, pesados y públicos durante la semana en el sentido Sur – Norte 40

Figura 14 Distribución de vehículos ligeros, pesados y públicos durante la semana en el sentido Norte – Sur 40

Se establece el equivalente de autos para camiones y buses (Et). Para ello, se utilizó la figura 15:

Figura 15 Equivalentes de autos para buses y camiones en pendientes ascendentes uniformes . 47

Figura 16 Criterio de Nivel de Servicio con las curvas de: Avance de 15 minutos para vehículos de pasajeros equivalentes en comparación con la velocidad de flujo libre. 51

Figura 17 Gráfico de barras: Motivos de viajes más frecuentes de conductores de vehículo ligero 67

Figura 18 Gráfico de barras: Percepción del tiempo de viaje por la Vía Evitamiento de conductores de vehículo ligero 68

Figura 19 Gráfico de barras: Percepción del costo del peaje de conductores de vehículo ligero 68

Figura 20 Gráfico de barras: Vía de transporte de conductores de vehículo ligero en caso aumente el peaje de 7:00a.m.-10:00a.m 69

Figura 21 Gráfico de barras: Vía de transporte de conductores de vehículo ligero en caso aumente el peaje de 5:00p.m.-9:00p.m 70

Figura 22 Gráfico de barras: Aceptación de cambio de hora de viaje de conductores de vehículo ligero en caso disminuya el peaje de 11:00p.m.-5:00a.m 70

Figura 23 Gráfico de barras: Aceptación de cambio de hora de viaje de conductores de vehículo ligero en caso disminuya el peaje de 12:00p.m.-3:00p.m 71

Figura 24 Gráfico de barras: Cambio de ruta de conductores de vehículo ligero en caso aumente el peaje en horas pico 72

Figura 25 Gráfico de barras: Percepción del tiempo de viaje por la Vía Evitamiento de conductores de vehículo pesado 73

Figura 26 Gráfico de barras: Percepción del costo del peaje de conductores de vehículo pesado 73

Figura 27 Gráfico de barras: Aceptación de cambio de hora de viaje de conductores de vehículo pesado en caso disminuya el peaje de 11:00p.m.-5:00a.m 74

Figura 28 Gráfico de barras: Aceptación de cambio de hora de viaje de conductores de vehículo pesado en caso disminuya el peaje de 12:00p.m.-3:00p.m 75

Figura 29 Gráfico de barras: Aceptación de cambio de hora de viaje de conductores de vehículo pesado en caso aumente el peaje de 7:00a.m.-10:00a.m. 75

Figura 30 Gráfico de barras: Aceptación de cambio de hora de viaje de conductores de vehículo pesado en caso aumente el peaje de 5:00p.m.-9:00a.m 76

Figura 31 Gráfico de barras: Cambio de ruta de conductores de vehículo pesado en caso aumente el peaje en horas pico 77

Figura 32 Gráfico de barras: Motivos de viajes más frecuentes de pasajeros de transporte público 77

Figura 33 Gráfico de barras: Percepción del tiempo de viaje por la Vía Evitamiento de pasajeros de transporte público 78

Figura 34 Gráfico de barras: Costo promedio de pasaje de pasajeros de transporte público cuando viaja por la Vía Evitamiento 79

Figura 35 Gráfico de barras: Percepción de pasajeros de transporte público sobre quien es el principal causante de tráfico en la Vía Evitamiento 79

Figura 36 Gráfico de barras: Aceptación de aumento de pasaje en horas pico para vehículos ligeros y pesados 80

Figura 37 Tarifa del peaje en hora pico vs Elasticidad 92

Figura 38 Tarifa del peaje en hora no pico vs Elasticidad 93

Figura 39 Distribución de vehículos ligeros durante la semana en el sentido Sur – Norte 121

Figura 40 Distribución de vehículos ligeros durante la semana en el sentido Sur – Norte 121

Figura 41 Distribución de vehículos ligeros durante la semana en el sentido Norte – Sur 122

Figura 42 Distribución de vehículos pesados durante la semana en el sentido Sur – Norte..... 122

Figura 43 Distribución de vehículos pesados durante la semana en el sentido Norte – Sur..... 123

Figura 44 Distribución de vehículos públicos durante la semana en el sentido Sur – Norte..... 123

Figura 45 Distribución de vehículos públicos durante la semana en el sentido Norte – Sur..... 124

Figura 46 Distribución de tipos de vehículos el lunes en el sentido Sur – Norte 125

Figura 47 Distribución de tipos de vehículos el martes en el sentido Sur – Norte 125

Figura 48 Distribución de tipos de vehículos el miércoles en el sentido Sur – Norte 126

Figura 49 Distribución de tipos de vehículos el jueves en el sentido Sur – Norte 126

Figura 50 Distribución de tipos de vehículos el viernes en el sentido Sur – Norte 127

Figura 51 Distribución de tipos de vehículos el sábado en el sentido Sur – Norte..... 127

Figura 52 Distribución de tipos de vehículos el domingo en el sentido Sur – Norte 128

Figura 53 Distribución de tipos de vehículos el lunes en el sentido Norte – Sur 129

Figura 54 Distribución de tipos de vehículos el martes en el sentido Norte – Sur 129

Figura 55 Distribución de tipos de vehículos el miércoles en el sentido Norte – Sur 130

Figura 56 Distribución de tipos de vehículos el jueves en el sentido Norte – Sur 130

Figura 57 Distribución de tipos de vehículos el viernes en el sentido Sur – Norte 131

Figura 58 Distribución de tipos de vehículos el sábado en el sentido Norte – Sur..... 131

Figura 59 Distribución de tipos de vehículos el domingo en el sentido Norte – Sur 132

Figura 60 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del lunes en el sentido Sur - Norte. 133

Figura 61 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del martes en el sentido Sur - Norte133

Figura 62 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del miércoles en el sentido Sur – Norte 134

Figura 63 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del jueves en el sentido Sur – Norte 134

Figura 64 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del viernes en el sentido Sur - Norte 135

Figura 65 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del sábado en el sentido Sur - Norte 135

Figura 66 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del en el sentido Sur – Norte..... 136

Figura 67 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del lunes en el sentido Norte - Sur. 137

Figura 68 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del martes en el sentido Norte - Sur137

Figura 69 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del miércoles en el sentido Norte – Sur 138

Figura 70 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del jueves en el sentido Norte – Sur 138

Figura 71 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del viernes en el sentido Norte – Sur 139

Figura 72 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del sábado en el sentido Norte - Sur 139

Figura 73 Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del en el sentido Norte – Sur..... 140

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Elasticidad de la demanda del precio de peaje 21

Ecuación 2. Número de muestras 30

Ecuación 3. Determinación de elasticidad de usuarios 31

Ecuación 4. Densidad 32

Ecuación 5. Factor hora pico 33

Ecuación 6. Factor de ajuste por vehículos pesados 48

Ecuación 7. Tasa de flujo de 15 minutos para autos de pasajeros equivalentes 49

Ecuación 8. Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado 61

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Lima ha experimentado un crecimiento económico continuo, consolidándose como uno de los núcleos económicos de mayor relevancia en Sudamérica. No obstante, pese a su ubicación estratégica, abundancia de recursos naturales y riqueza cultural, no proyecta una imagen de ciudad eficiente, moderna y dinámica. Este crecimiento ha venido acompañado de un aumento demográfico significativo, estimándose que su población actual de 8 millones de habitantes alcanza entre 11 y 12 millones en la próxima década. Este incremento poblacional ha impulsado un vertiginoso aumento del parque automotor, con 1.8 millones de vehículos registrados en la actualidad y una proyección de 2.3 millones para 2025 (Posada, 2018). Durante décadas, Lima careció de un plan urbanístico integral, existiendo únicamente planes aislados entre la municipalidad y el Ministerio de Transporte, lo que dificultaba la planificación conjunta. La creación de la Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU) en 2018, mediante la Ley N°30900, representó un avance al centralizar la gestión del transporte bajo la supervisión del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). Sin embargo, la insatisfacción de los limeños con su calidad de vida persiste (Pérez, 2023). Instituto de Opinión Pública (IOP, 2018) revelo que el 37.4% de los habitantes de Lima expresó su insatisfacción con la ciudad, destacando Lima Norte como la zona con mayor nivel de descontento. En cambio, en el Callao, el 44.5% de los encuestados manifestó estar satisfecho, superando en siete puntos porcentuales el promedio de satisfacción registrado en Lima.

Es importante comprender las causas del descontento de los ciudadanos limeños. Para ello, se llevó a cabo una encuesta que identificó los principales inconvenientes que afectan a la población. En

primer lugar, se destacó la delincuencia como el problema más grave, seguida por las deficiencias en el transporte público, una situación que persiste hasta hoy. Otros aspectos mencionados fueron la corrupción y la falta de limpieza en la ciudad, ambos con porcentajes semejantes, reflejando la misma tendencia observada en 2017, cuando la corrupción de funcionarios fue percibida como una problemática urbana relevante (IOP, 2018). Una insuficiente administración de transporte a nivel nacional contribuye de manera significativa a la insatisfacción, poniendo de manifiesto la importancia de una movilidad sustentable que asegure una ciudad habitable y un excelente nivel de vida de vida a favor de sus residentes.

El atasco de vehículos representa el principal motivo de descontento de los clientes del trasporte a nivel local en Lima, siendo el problema más resaltado en varias encuestas y un indicio de fallos estructurales más serios. A pesar de que no supone un peligro directo para la vida, su efecto en el nivel de vida es considerable. La congestión refleja la falta de planificación urbanística, evidenciada en la reagrupación poblacional en las áreas específicas Norte y Este de la ciudad, mientras que la mayoría de los empleos se concentran en el Centro Amplio (Montezuma, 2013). Esta distribución territorial extiende los tiempos de viaje, que según Acosta (2024), generan un retraso adicional de 26 minutos en la mañana y 31 minutos en la noche. La rápida motorización ha exacerbado este problema, en los últimos diez años, se ha registrado un aumento del 140% en la cantidad de vehículos. Este aumento del número de vehículos ralentizo el transporte y aumentado las horas de viaje. Una encuesta del IOP (2018) reveló que el 19.7% de limeños tarda 15 minutos o menos en llegar a su destino, el 56.3% demora entre 16 minutos y 1 hora, y el 24% supera una hora de viaje. Considerando el retorno, cerca del 25% de la población invierte más de dos horas diarias en traslados por trabajo o estudios.

Para el año 2019, Lima registró un incremento superior a 236 mil vehículos nuevos, incluyendo unidades pesadas, livianas y menores, lo que fue percibido como un indicador de crecimiento económico. Sin embargo, este aumento no fue evaluado considerando los impactos en la movilidad sustentable y el nivel de vida superior (Morisaki, 2024). La congestión vehicular resultante ha contribuido al deterioro ambiental, convirtiéndose en un problema crítico. Una encuesta del IOP (2018) reveló que más del 70% de los encuestados identificó al exceso de vehículos como el principal agente contaminante. La falta de árboles y el escaso mantenimiento de áreas verdes se ubicaron como la segunda preocupación ambiental en Lima, con un 38.3%. En el Callao, el principal problema señalado fue la contaminación sonora, mencionada por el 37.5% de los encuestados, atribuida al tráfico vehicular, la falta de orden, el incumplimiento de normas y la deficiente fiscalización. La congestión vehicular, además de impactar en el medio ambiente, refleja falencias en la gestión urbana y la planificación vial (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2016).

La congestión vehicular en Lima ha evidenciado la urgencia de poner en marcha acciones eficaces para su mitigación, siendo la Gestión de la Demanda del Transporte (GDT) una de las alternativas más viables. La GDT, reconocida como Gestión de la Demanda de Viajes, busca maximizar la eficacia de la administración de transporte urbanístico al desincentivar el uso excesivo de automóviles privados y promover rutas de transporte alternativas más eficientes, sostenibles y saludables. Esta estrategia se presenta como una solución asequible para Lima, considerando los limitados recursos financieros debido a recientes casos de corrupción en la administración pública. La GDT influye en la conducta de los usuarios para redistribuir la demanda de viajes, siguiendo los principios de la teoría económica de oferta y demanda. Dentro de esta gestión, la Tarificación Vial se destaca como una política que incrementa la eficiencia del sistema de transporte mediante

incentivos económicos que motivan a los conductores a modificar rutas, horarios, modos de transporte y frecuencias de viaje. Esta herramienta ha sido adoptada exitosamente en ciudades como Singapur, Londres, Estocolmo, Milán y Gotemburgo. En Singapur, su implementación en los años 80 redujo en 44% las entradas a zonas restringidas durante horas pico, superando la meta inicial del 25-30%, y aumentó la velocidad de circulación nocturna de 25 a 32 km/h (Lehe, 2019), demostrando así su efectividad como una medida de gestión de tráfico urbano.

La implementación de la Tarifa por Congestión en Londres (LCC) evidenció resultados favorables al reducir significativamente las entradas de vehículos a la zona de alta congestión durante las horas pico y redistribuir el tráfico hacia vehículos exentos. Entre 2002 y 2003, las entradas de automóviles y minicabs disminuyeron en un 33% (65,000 vehículos), mientras que las de taxis aumentaron un 18% (10,000 vehículos) y las de otros vehículos con más de cuatro ruedas cayeron un 18% (60,000 vehículos). Estos patrones se mantuvieron estables hasta 2007, incluso tras el incremento del 60% en la tarifa, de £5 a £8, en 2005 (Sisk, 2019). El monitoreo detallado concluyó en 2008; sin embargo, *Transport for London* informó que las entradas de automóviles privados continuaron disminuyendo en los años posteriores. Además, durante el mismo período, se registró un aumento del 38% en el número de pasajeros de autobús que ingresaron a la zona de congestión en las horas de mayor demanda, atribuyéndose este incremento tanto al cobro por congestión como a las mejoras implementadas en el sistema de transporte público (Lehe, 2019).

1.2 Formulación del problema

La congestión del tráfico en la Vía de Evitamiento ha aumentado significativamente como resultado de la rápida expansión de la flota de automóviles en Lima, la deficiente infraestructura vial y las regulaciones de transporte ineficaces. A pesar de los esfuerzos por aumentar la movilidad

urbana, los resultados anticipados se han visto limitados por un mal diseño y la falta de técnicas de gestión efectivas.

Se sugiere aquí el cobro por el uso de la carretera como un sustituto viable para reducir el tráfico en esta importante vía. Si la introducción de un sistema de peaje variable basado en la demanda de vehículos mejora sustancialmente el flujo de tráfico y maximiza la calidad del servicio aún no se ha establecido.

Bajo esta premisa, la presente investigación busca responder a la siguiente pregunta:

¿En qué medida la aplicación de un sistema de tarificación vial en la Vía de Evitamiento contribuiría a la reducción de la congestión vehicular y a la optimización del nivel de servicio en el tramo comprendido entre el Trébol de Javier Prado y la Av. Nicolás Ayllón?

Para abordar este problema, se analiza el impacto de la tarificación vial mediante herramientas de modelado de tráfico y encuestas de percepción ciudadana, con el objetivo de determinar la viabilidad y efectividad de esta medida en el contexto limeño.

1.3 Justificación

Durante los últimos 20 años, la economía de Perú ha crecido de manera constante, y Lima en particular, convirtiéndola en un potencial centro económico regional. Sin embargo, la ciudad no tiene una imagen contemporánea, vibrante y efectiva a pesar de su posición ventajosa. Este crecimiento ha ido acompañado de un aumento demográfico significativo, estimándose que para la próxima década Lima podría alcanzar los 12 millones de habitantes (The Economist, 2014).

Una de las mayores dificultades de la ciudad de Lima es la ausencia de un plan de desarrollo urbano integral; los existentes son fragmentados, con la municipalidad gestionando un plan de transporte masivo y el Ministerio de Transporte otro distinto, lo que evidencia la falta de coordinación y

políticas reguladoras, reflejada en la creciente congestión vehicular. La congestión podría reducirse mediante la aplicación adecuada de la Gestión de la Demanda de Transporte (GDT), que incluye la Tarificación Vial, un mecanismo que impone un costo monetario para desincentivar el uso de vehículos en zonas y horarios congestionados. Al enfrentar tarifas elevadas, los usuarios podrían optar por medios de transporte público o ajustar sus horarios de viaje. La Tarificación Vial, mediante el cobro de peajes mixtos según tipo de vehículo y tarifas variables por hora de tránsito, se manifiesta como una alternativa factible para disminuir la congestión en Lima.

1.4 Hipótesis

La implementación de un sistema de tarificación vial en la Vía de Evitamiento contribuirá a la reducción de la congestión vehicular y es aceptada progresivamente por los usuarios como una medida viable para mejorar la movilidad urbana.

1.5 Objetivo General

Evaluar el escenario propuesto de tarificación vial y medir el porcentaje de congestión reducido tanto en vehículos pesados como en ligeros.

1.6 Objetivos Específicos

- Obtener las horas pico mediante los gráficos de nivel de congestión por tiempo.
- Obtener el porcentaje de aceptabilidad de los usuarios con respecto a la variación de peajes.
- Determinar la elasticidad (E) del precio de peaje de la demanda de tráfico.
- Determinar el nivel de servicio (N.S.) actual y el esperado.

2. ESTADO DEL ARTE

Baghestani et al. (2020) en su artículo *"Evaluating the traffic and emissions impacts of congestion pricing in New York City"* señala que su meta era analizar el impacto de la tarificación de las vías en los intentos de la comunidad de Nueva York de disminuir la polución y el tráfico. Utilizando datos sobre el flujo de vehículos, la duración de los viajes y los niveles de contaminación, se empleó un enfoque de investigación cuantitativa mediante simulaciones de tráfico utilizando modelos de transporte multimodal. Los hallazgos señalaron que el implemento de la tarificación vial incrementó el nivel del aire saludable y la movilidad urbana al minimizar las emisiones de CO2 en un 11.5% y el tráfico en un 17.2%. En última instancia, llegaron a la conclusión de que la tarificación vial es una táctica útil para disminuir la congestión del tráfico, hacer un mejor uso del espacio disponible y reducir los efectos ambientales negativos del tráfico urbano.

Yang et al. (2020), en su artículo "The marginal cost of traffic congestion and road pricing: Evidence from a natural experiment in Beijing", indica que el propósito era medir el costo residual del congestionamiento de automóviles y evaluar el impacto de la tarificación de las vías en la reducción del tráfico en Beijing. Se utilizó un diseño experimental con un estudio de información de tráfico antes y después de la implementación de restricciones vehiculares y tarifas dinámicas, lo que permitió medir con precisión el efecto de la política. Los resultados mostraron que la tarificación redujo la congestión en un 20%, aumentó la eficiencia del sistema vial en un 25% y disminuyó los tiempos de viaje en un 18%. Además, se observó un cambio en los hábitos de movilidad de los ciudadanos, con un incremento en la utilización del transporte colectivo y de medios de transporte alternativos. Como conclusión, se determinó que la tarificación vial, cuando se combina con estrategias de movilidad sostenible, es una solución efectiva para mitigar el tráfico en ciudades con alta densidad vehicular.

Loane y Ketter (2021), en su artículo "How road pricing is tackling congestion and pollution in cities like London and Singapore", tuvieron como objetivo evaluar cómo la tarificación vial ha impactado la congestión vehicular y la contaminación ambiental en ciudades que han adoptado esta medida. A través de un análisis comparativo basado en indicadores de movilidad y calidad del aire antes y después de la implementación de tarifas, los resultados indicaron que en Londres el tráfico se redujo en un 30% y las emisiones de CO_2 disminuyeron en un 19%, mientras que en Singapur se registró una reducción del 25% en la congestión y un incremento del 15% en el uso del transporte público. Además, se destacó que el diseño adecuado del sistema de tarificación, con tarifas ajustadas según la demanda y el horario, permitió optimizar el tráfico vehicular e incrementar el nivel de aire saludable en las áreas urbanas analizadas. Como conclusión, se estableció que la tarificación de las vías es una medida eficaz para disminuir el congestionamiento y reducir el impacto ambiental del transporte, siempre que se acompañe de optimizaciones en el sistema de transporte a nivel local y políticas de movilidad sostenible.

Pereyra Nolasco (2021), en su investigación "El problema de la congestión del transporte urbano en Lima y Callao, los agentes comprometidos y el sistema perverso de incentivos: Hipótesis para las alternativas de solución", tuvo como objetivo analizar la congestión del transporte urbano en Lima y Callao, identificando los factores estructurales, económicos y políticos que perpetúan esta problemática. A través de un enfoque cualitativo con revisión documental y entrevistas a expertos en movilidad, se determinó que el 68% de los viajes diarios en Lima son afectados por congestión severa, con velocidades promedio de 11 km/h en horas pico. Además, se evidenció que la falta de planificación en el transporte público, la excesiva dependencia del vehículo particular y la ausencia de incentivos adecuados para el uso de alternativas sostenibles han generado un sistema ineficiente. Como solución a esta problemática, se enfatizó la tarificación vial como un mecanismo

clave para regular la demanda vehicular y desincentivar el uso excesivo de automóviles privados en zonas críticas. Se concluyó que, para que esta medida sea efectiva, debe implementarse junto con mejoras en el transporte público y estrategias de gestión urbana.

Giraldez Zúñiga (2022), en su artículo "Tarificación vial: Tecnologías para reducir la congestión vial en la región", tuvo como objetivo analizar la implementación de tecnologías de tarificación vial en ciudades de América Latina como una respuesta eficiente para disminuir la congestión de vehículos. Mediante un estudio de casos en Santiago, Ciudad de México y São Paulo, se evaluó el impacto de la tarificación vial en la reducción del tráfico y la optimización de la movilidad en la ciudad. Se mostraron que la aplicación de tarifas de congestión logró reducir en un 21% el tráfico en horas pico y mejorar en un 30% la velocidad promedio en las zonas intervenidas. Además, se observó que la aceptación social de la medida aumentó cuando los ingresos generados fueron reinvertidos en infraestructura y transporte público. La investigación concluyó que la tarificación vial es una táctica factible y eficaz para mitigar la congestión vehicular, siempre que se diseñe con criterios de equidad tarifaria y reinversión en movilidad sostenible.

Guzmán (2022), en su artículo "La mejor estrategia para reducir la congestión es ponerle un precio", tuvo como objetivo evaluar los beneficios y desafíos de la tarificación vial como estrategia para reducir el tráfico en grandes ciudades. A través de un criterio cuantitativo fundamentado en la evaluación de información de movilidad en Londres, Singapur y Nueva York, el estudio demostró que la implementación de tarifas viales redujo la congestión vehicular entre un 15% y 30%, disminuyó la emisión de contaminantes en un 12% y mejoró el rendimiento del sistema de transporte en tales urbes. Además, se demostró que la tarificación vial es más exitosa cuando se combina con políticas de movilidad sostenible y soluciones de transporte público accesibles. El

estudio recomendó su implementación en lugares con problemas de tráfico significativos, enfatizando que esta técnica es una forma viable de reducir la congestión vehicular.

Ramos Quispe y Salcedo Alvitrez (2022), en su tesis "Propuesta para reducir el congestionamiento vehicular y capacidad vial en la carretera central PE. 3SB, Distrito Pilcomayo, Junín, 2022", establecieron como objetivo evaluar el impacto del tráfico en la carretera central PE. 3SB y plantear soluciones para mejorar su capacidad vial. El método empleado fue un estudio aplicado de orientación cuantitativa y diseño no experimental. Se realizaron mediciones de flujo vehicular y análisis de tiempos de recorrido en distintos horarios del día. Los resultados mostraron que la carretera central registraba una carga vehicular de 1,200 vehículos por hora en horas pico, superando en un 35% su capacidad óptima. Se propuso la elaboración de carriles únicos para transporte público y la implementación de un sistema de tarificación vial para reducir el tráfico privado innecesario. Tras la simulación de estos cambios, se estimó una reducción del 28% en la congestión y una mejora del 23% en la velocidad promedio de desplazamiento. Se concluyó que la tarificación vial combinada con estrategias de infraestructura puede contribuir significativamente a la optimización del tráfico en corredores urbanos estratégicos.

Díaz Azcúnaga et al. (2022), en su estudio *"Oportunidades, retos y brechas de la revolución tecnológica para la tarificación vial"*, tuvieron como objetivo analizar los desafíos y beneficios de la tarificación vial en ciudades emergentes, considerando la infraestructura, la viabilidad económica y la aceptación ciudadana. A través de un análisis exploratorio basado en la revisión de políticas de movilidad y sistemas de tarificación en 10 ciudades, los resultados indicaron que la recaudación por tarifas de congestión permitió financiar hasta el 40% del transporte público en algunas metrópolis, evidenciando su potencial para mejorar la sostenibilidad urbana. No obstante, se identificaron dificultades en la infraestructura tecnológica, en la gestión de datos y en la

resistencia social ante el pago de peajes urbanos. La investigación concluyó que la tarificación vial representa una solución eficiente para la congestión vehicular, pero requiere de integración con sistemas de pago automatizados y campañas de concienciación para lograr su aceptación y éxito.

Rodriguez Ramirez (2023), en su tesis "Evaluación del tránsito y propuesta para disminuir la congestión vehicular en el entorno de la avenida Salaverry", tuvo como finalidad analizar la congestión vehicular en dicha avenida y desarrollar una estrategia integral para mejorar su nivel de servicio. Se utilizó una metodología cuantitativa con una aplicación no experimental, utilizando aforos vehiculares y modelado de tráfico con software Aimsun. Los resultados indicaron que el tramo analizado operaba con un nivel de servicio E en horas punta, con velocidades promedio de 18 km/h y tiempos de espera superiores a 7 minutos en intersecciones críticas. Se propuso la optimización de intersecciones y la puesta en marcha de un dispositivo de peajes en las ciudades para limitar el acceso durante las horas de gran demanda. Las simulaciones revelaron que la aplicación de estas medidas reduciría la congestión en un 33% y aumentaría la velocidad de desplazamiento a 30 km/h. Se concluyó que la gestión de la demanda vehicular mediante estrategias de tarificación vial y mejoras en la infraestructura s una alternativa factible para disminuir la congestión y minimizar la aglomeración en zonas urbanas de alto tráfico.

Kreindler (2024), en su artículo "Tarifas por congestión vial en horas pico: evidencia experimental e implicaciones de equilibrio", su objetivo era examinar cómo la tarificación vial con cargos dinámicos afectaba la facilidad del tráfico durante las horas pico. Se utilizó un enfoque experimental con modelos de simulación de tráfico y encuestas a conductores para medir su respuesta ante variaciones en los costos de circulación. Los resultados indicaron que un sistema de cobro variable redujo la congestión en un 28% en comparación con tarifas fijas, y que un incremento de 10% en la tarifa resultó en una merma del 6% en la cantidad de automóviles en

movimiento. También se evidenció que la tarificación diferenciada según horario y zona logra distribuir mejor los flujos vehiculares, reduciendo los atascos sin afectar significativamente la movilidad general. La investigación concluyó que la tarificación vial con precios dinámicos es una herramienta eficiente para gestionar el congestionamiento automovilístico y mejorar la movilidad en poblaciones con tráfico intenso.

3. MARCO TEÓRICO

Esta investigación está basada en una política de transporte que abarca administrar la demanda en el sector del transporte. Esta política aplicada en muchas ciudades ha revelado su efectividad al disminuir el porcentaje de congestión en vías y centros principales de las ciudades en cuestión. Es por ello que la aplicación de la tarificación vial en un segmento de la Vía Evitamiento es lo ideal y se evalúa en los diferentes escenarios planteados.

3.1. Gestión de la Demanda del Transporte

Es un conjunto de leyes y tácticas diseñadas para fomentar la movilidad sostenible reduciendo la demanda de viajes en automóvil. La Gestión de la Demanda de Transporte sugiere implementar diferentes planes o políticas para minimizar la utilización innecesaria de equipos motorizados. Según Broaddus et al. (2009), el GDT aumenta la efectividad del sistema de transporte al proporcionar una serie de incentivos para que los pasajeros cambien su tiempo de viaje, ruta, modo, destino, frecuencia y costo. En consecuencia, los individuos que adoptan modos de transporte más eficientes se benefician, mientras que aquellos que continúan viajando de manera ineficiente deben pagar más (Broaddus et al., 2009).

Existen cuatro tipos de medidas de GDT, económico, tecnológico, político y comportamental, de las cuales cabe resaltar las medidas económicas para esta investigación. Estos pueden incluir cuotas de contaminación, impuestos y uso del suelo, regulaciones de estacionamiento y tarifas de congestión (Hidalgo et al., 2019).

3.1.1 Medidas económicas

Numerosas de estas acciones podrían motivar a los conductores a seleccionar la solución más económica para cada viaje. Esto podría incluir la tarificación, donde los conductores son responsables de pagar directamente todos los gastos de infraestructura vial y de estacionamiento,

con precios que aumentan durante las horas pico y disminuyen durante las horas no pico (Broaddus et al., 2009). Uno de los tipos de medida más importante es el cobro por congestión, que a su vez es una medida de la tarificación vial, la cual se detalla a continuación.

3.2.Tarificación Vial

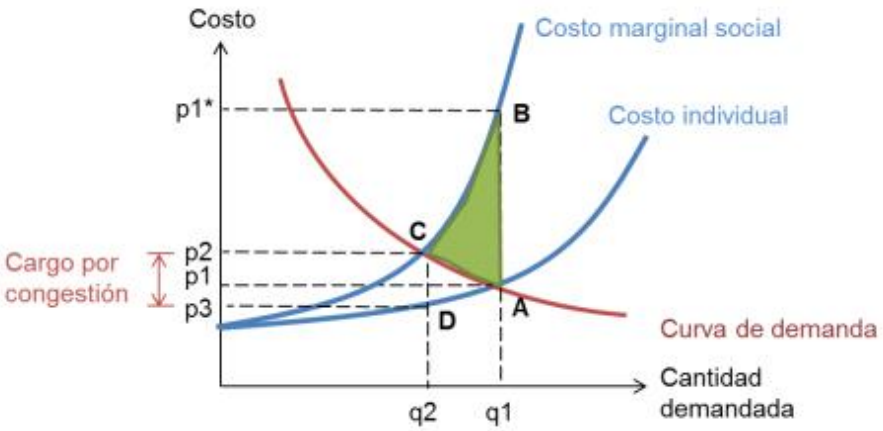
Implica cobrar por el uso de automóviles en áreas con tráfico significativo. Al hacer que conducir por una ruta en particular durante las horas pico sea más costoso, se disuade a los conductores de usar vehículos como forma de transporte, lo que ayuda a reducir el tráfico. Esto se hace con el esfuerzo de internalizar los costos sociales que los usuarios de vehículos privados no experimentan (Romero et al., 2018).

Cobro por congestión: La implementación de un sistema que permita a cada usuario internalizar los costos que incurre para el resto de la sociedad es importante para alcanzar un óptimo social, donde los choferes experimentan un costo personal por cada trayecto que equivale al costo social al que aportan. Al cobrar un precio a todos los que utilizan la infraestructura que se supone debe ser gestionada, el peaje de congestión es un mecanismo económico que hace posible alcanzar este objetivo y lograr un nivel ideal de congestión.

De manera similar, solo cuando se muestra el saldo de los cargos individuales los usuarios del sistema pueden percibir los costos que el viaje representa para ellos mismos. Mientras tanto, ignora los gastos que asumen otros usuarios, lo que fomenta el uso excesivo del sistema. Por esta razón, es fundamental que las personas internalicen los gastos que imponen a los demás cuando el tráfico es intenso. En respuesta a esta internalización de costos, los recursos deben ser reasignados de manera que se maximice la utilización del sistema.

Figura 1

Esquema de la cantidad demandada vs el costo



Nota. Adaptado de "Análisis del cobro por congestión en Bogotá desde una perspectiva desagregada", por J. Barrera y J Tibatá, 2021. (https://revista.asoegresadosuptc.com/index.php/home/article/view/55).

La situación donde los utilizadores del sistema asimilan los gastos asociados al congestionamiento se aprecia en la Figura 1 en el punto C. Sienten p2, que es más de lo que perciben en el equilibrio para los costos individuales (p1). La tarifa de congestión necesaria para maximizar la asignación de recursos y, en consecuencia, las ventajas que la sociedad obtiene del uso de la infraestructura sería la diferencia entre p2 y p3.

La región más oscura en la Figura 1 representa las ventajas sociales (ahorros en tiempo perdido) que el nuevo punto de equilibrio proporciona. Cabe destacar que estas son las ventajas del peaje de congestión que están específicamente vinculadas a los impactos de tráfico de este tipo de políticas; esta investigación no incluye todas las consecuencias y ventajas. Sin embargo, el dinero generado por el sistema sería igual al monto del cargo (p2-p3) multiplicado por el número de usuarios en el punto de equilibrio C (q2).

Finalmente, es importante recordar que la tarificación de congestión es solo uno de los instrumentos económicos que permiten controlar la demanda de vehículos privados y, como resultado, las externalidades relacionadas con su uso (Guerra et al., 2013).

Por ejemplo, en 2003, la ciudad de Londres introdujo un sistema de peaje urbano en el núcleo de la comunidad, que se elevó a 40 en 2007. Tanto los coches pesados como los privados estaban sujetos a la tarifa de 7 AM a 6 PM (Pozueta, 2008).

Se predecía que la congestión disminuiría entre un 13% y un 17% como resultado de la estrategia. Según, la reducción fue del 14% en el sexto año después de que se extendió la zona de carga. Hubo un aumento del 38% en el número de autobuses que entraban en la zona, y su velocidad aumentó un 15%. La efectividad del sistema se debe probablemente a que es un componente de un conjunto más amplio de normas de transporte (Hidalgo et al., 2019).

3.3. Encuestas - Técnicas de preferencias declaradas

Dentro del tipo de encuestas que se realizaron, se encuentra el de preferencias declaradas. Según Ortuzar (2003, como se cita en Pompilio, 2006) señala que:

> El termino preferencias declaradas se refieren a un conjunto de procedimientos que se basan en los juicios declarados (datos) de las personas sobre cómo se comportarían en diversas circunstancias hipotéticas que se les presentan; estos juicios deben ser lo más cercanos posible a la realidad. (p. 2)

Pompilio (2006) afirma que estos métodos construyen las opciones hipotéticas que se muestran a los encuestados utilizando diseños experimentales. Después de eso, se recopila información que permite estimar las funciones de utilidad en relación con las opciones del experimento. Las opciones de elección que se les dieron a los encuestados eran explicaciones de escenarios o

configuraciones que el investigador había creado y que variaban según la importancia de sus características.

Varios problemas con los enfoques de preferencias reveladas pueden resolverse mediante técnicas de preferencias declaradas, incluyendo:

- El rango de alteración de las características (variables explicativas) puede aumentarse al grado necesario o deseado, permitiendo la inclusión de variables e incluso opciones no disponibles durante el año base del estudio.
- Es posible aislar completamente el impacto de factores de interés especial.
- Es posible incluir variables secundarias con una unidad de medida cualitativa.
- Los datos (variables independientes que muestran la elección del consumidor hipotético) se construyen sin error de medición.
- En comparación con los enfoques de preferencias reveladas, los métodos de preferencias declaradas son menos costosos y requieren menos tiempo para recopilar y analizar datos. Estos últimos necesitan más información que las encuestas (típicamente de origen-destino), incluyendo el uso de modelos de red para evaluar los gastos y tiempos de viaje de cada persona.

3.3.1 Características generales del diseño experimental de preferencias declaradas

Los enfoques de análisis conjunto permiten desglosar la respuesta del experimento en función de las cualidades de cada alternativa de opción que enfrenta la persona. Estos atributos se separan en un número específico de niveles que se especifican estadísticamente de manera eficiente. Cada encuestado añade tantas observaciones a la muestra total como el número de elecciones hipotéticas

a las que respondió. Se pueden identificar tres tipos principales de diseño experimental según el tipo de reacción que produjo el experimento:

- Escalamiento (rating)
- Jerarquización (ranking)
- Elección (choice)

Estas tres categorías (jerarquización, selección y escalación) tienen varias ventajas que pueden resumirse como:

- A pesar de ser más difícil de implementar, la jerarquía ofrece más información ya que permite comparar todas las opciones disponibles.
- Aunque los diseños jerárquicos predominaban en las primeras aplicaciones empíricas, los diseños de elección han sido los más populares en los últimos años, ya que la elección es lo que se anticipa. El diseño de elección es el más frecuentemente empleado para evaluar el requerimiento de transporte urbano.
- Aunque pueden ser utilizados con precaución en configuraciones de opciones abstractas (como formas de transporte que no estaban disponibles en el momento de la encuesta), las respuestas resultantes son más confiables cuando el contexto de decisión está basado en la realidad.

A continuación, se examinan cada uno de los tres tipos de encuestas citados, escalamiento, jerarquización y elección.

3.3.1.1 Escalamiento

En lo mencionado por Louviere et al. (2000, como se cita en Pompilio, 2006) se da en lo siguiente:

> Bajo circunstancias o suposiciones específicas establecidas por el investigador, la respuesta se convierte en una escala de utilidad. En la escalación, la respuesta se organiza en una escala numérica o semántica que representa el placer, la atractividad o la probabilidad de utilizar un modo específico de transporte. Por lo tanto, según las percepciones del investigador sobre la capacidad de los consumidores para reportar variaciones en el grado de preferencia entre alternativas, las proporciones de preferencia entre opciones, se pueden emplear diversas técnicas de respuesta. Esto implica hacer suposiciones bastante fuertes sobre las capacidades cognitivas de los compradores.
>
> En términos generales, se puede decir que cuanto más supuestos se hagan sobre las mediciones, menos probable es que se cumplan; como resultado, las mediciones que se obtienen probablemente están sesgadas o incorrectas (aunque confiables). (p. 4)

En comparación con los otros dos tipos de diseño experimental, la escalación se basa en aproximadamente cinco supuestos subyacentes que son más robustos respecto a las capacidades cognitivas de los consumidores. Se utilizan para indicar grados de preferencia; la que coloca cada opción en una de las categorías que comprenden una escala de categorías de elección es la que se emplea con mayor frecuencia en aplicaciones empíricas. En estas situaciones, se utiliza una escala semántica, por ejemplo, a través de las respuestas, para hacer tangible la selección entre dos formas de transporte (como un autobús y un taxi):

- Definitivamente uso autobús.
- Probablemente uso autobús.

- No hay preferencia / podría usar cualquiera de los dos modos presentados.
- Probablemente uso taxi.
- Definitivamente uso taxi.

3.3.1.2 Jerarquización

Las elecciones de cada respuesta se evalúan y organizan según el gusto o la belleza en el orden correcto. El siguiente paso es estimar una función de utilidad que se alinee con la secuencia preferida de opciones del encuestado. Hay dos métodos para obtener la calificación: (a) pedir al cliente que califique directamente las diferentes formas de transporte, (b) rastrear sus selecciones a lo largo del tiempo y luego clasificarlas según la frecuencia con la que se utilizan. Antes de intentar recopilar los datos, hay algunas especificidades a tener en cuenta en este tipo de diseño experimental, incluyendo:

- Cuantas más alternativas haya que clasificar, más difícil es para el encuestado o cliente completarlo.
- La cantidad de alternativas a clasificar y el nivel de preferencia por cada una de ellas tienen un impacto en la fiabilidad de las respuestas. En otras palabras, cuantas más posibilidades haya, menos confiable puede ser el experimento. Las alternativas más deseadas o indeseadas deberían ser más confiables, mientras que las opciones intermedias deberían ser menos confiables.
- Existen dudas acerca de la veracidad y confiabilidad de los datos vinculados a la valoración de oportunidades que nunca serían escogidas. Debería ser evidente a partir de esto que muchos problemas de modelado de elecciones requieren conocimiento sobre la "no

elección," o la capacidad de seleccionar "ninguna" de las alternativas disponibles. Dado que no hay un acuerdo sobre si es posible hacerlo de manera confiable y significativa, un ranking integral podría producir información poco clara a menos que se limite a las alternativas que el cliente realmente podría elegir.

- Existen dudas acerca de la calidad y confiabilidad de los datos vinculados a la categorización de alternativas que el cliente desconoce o no entiende totalmente.

3.3.1.3 Elección

El encuestado solo necesita seleccionar la opción que considere la mejor entre las opciones que se ofrecen en los experimentos de elección. Hay dos opciones de aplicación disponibles:

Elección cautelosa de una alternativa de un conjunto de opciones disponibles.

Elección discreta que divide un grupo de alternativas en dos categorías del tipo: prefiero esta opción/no prefiero esta opción, tomo en cuenta/no tomo en cuenta, o considero/no considero.

3.4. Elasticidad

La elasticidad precio de la demanda se refiere al cambio que experimenta la cantidad deseada de un producto en respuesta a las variaciones en el precio. Se define como una variación porcentual en la cantidad necesaria dividida por una variación porcentual en el precio.

La elasticidad de la demanda del precio de peaje se calcula con la ecuación 1:

$$E_t = \frac{\%\, variación\ en\ la\ cantidad\ demandada}{\%\, variación\ en\ el\ precio} = \frac{\Delta Q\ /P}{\Delta P/Q} \qquad (1)$$

Los aumentos de precios de algunos artículos resultan en cambios leves en la cantidad requerida. Esto se conoce como demanda inelástica, y indica que los clientes no son sensibles a los precios. Por el contrario, la demanda de ese producto es elástica si los clientes son muy sensibles incluso a pequeños cambios de precio, lo que puede alterar drásticamente la cantidad solicitada.

La necesidad de un bien es inelástica a medida que el valor adquirido de la elasticidad se sitúa entre cero y uno, en cambio, si es elástica, el valor adquirido de la elasticidad supera uno. En caso el valor calculado sea un número positivo, este deberá multiplicarse por -1 por convención.

3.5. Nivel de Servicio

Las circunstancias operativas de un flujo vehicular y cómo los usuarios de la carretera las perciben se describen mediante esta métrica. Estas circunstancias están influenciadas por variables como la duración y velocidad del viaje, la maniobrabilidad, la seguridad vial, el confort y la conveniencia.

Existen seis Niveles de Servicio denominados: A, B, C, D, E, y F, establecidos por el HCM 2000. Este empieza con el flujo vehicular libre (A) y termina con la saturación de la capacidad total de la vía (F), estos se establecen en función de las condiciones operativas, si son de circulación continua o discontinua (Vega, 2018).

Las condiciones operativas de los Niveles de Servicio, las cuales se representan a continuación, son:

Nivel de Servicio A

Tener un grado de servicio A señala que existe un flujo libre en el camino, lo que implica que el tráfico se desplaza de manera libre y fluida. Prácticamente no hay restricciones en la velocidad a

la que los conductores pueden adelantar al coche que tienen delante sin ser retrasados. Como se ve en la figura 2, la circulación ofrece un grado muy alto de comodidad general.

Figura 2

Nivel de servicio A

Nota. De "Alternativas de explotación de la autopista ap-7 a su paso por la provincia de Alicante", por J. Melgarejo, 2018 (https://ineca-alicante.es/wp-content/uploads/2018/04/ESTUDIO-AP_7-completo-web-Ineca.pdf).

Nivel de Servicio B

Cae dentro del rango de flujo libre, y empieza a verse que otros vehículos tienen un impacto en la velocidad de los coches que se mueven rápidamente. La opción libre de elegir velocidades deseadas por los usuarios sigue sin verse afectada relativamente, aunque se reduce la libertad de maniobrar un poco y se generan demoras relativamente pequeñas en algunos tramos de la vía como se observa en la figura 3.

Figura 3

Nivel de Servicio B

Nota. De "Alternativas de explotación de la autopista ap-7 a su paso por la provincia de Alicante", por J. Melgarejo, 2018 (https://ineca-alicante.es/wp-content/uploads/2018/04/ESTUDIO-AP_7-completo-web-Ineca.pdf).

Nivel de Servicio C

La presencia de otros coches limita la elección de velocidad y maniobrabilidad, pero sigue estando dentro del rango de flujo constante. Se presenta la formación de colas poco consistentes y se genera un incremento en demoras por motivo de adelantamiento. Como se observa en la figura 4, el grado de comodidad y conveniencia disminuye.

Figura 4

Nivel de Servicio C

Nota. De "Alternativas de explotación de la autopista ap-7 a su paso por la provincia de Alicante", por J. Melgarejo, 2018 (https://ineca-alicante.es/wp-content/uploads/2018/04/ESTUDIO-AP_7-completo-web-Ineca.pdf).

Nivel de Servicio D

Indica una circulación de alta densidad, pero estable. La rapidez disminuye y la libertad de maniobra se ve gravemente limitada, lo que provoca un obstáculo para los adelantamientos. Los pequeños aumentos en la velocidad de la vía provocan la creación de colas en ciertos lugares de esta. El usuario experimenta un grado general de confort y comodidad bajo, tal como se muestra en la figura 5.

Figura 5

Nivel de Servicio D

Nota. De "Alternativas de explotación de la autopista ap-7 a su paso por la provincia de Alicante", por J. Melgarejo, 2018 (https://ineca-alicante.es/wp-content/uploads/2018/04/ESTUDIO-AP_7-completo-web-Ineca.pdf).

Nivel de Servicio E

El rendimiento está al límite de su capacidad. Se disminuye la velocidad de los vehículos y la libertad de maniobra es extremadamente complicada, lo que hace que los adelantamientos sean prácticamente inviables. Se producen colas largas de vehículos. Los grados de confort y comodidad son extremadamente reducidos. Normalmente, la circulación es inestable, ya que los mínimos incrementos en el flujo o pequeñas alteraciones en el tráfico generan colapsos, tal como se muestra en la figura 6.

Figura 6

Nivel de servicio E

Nota. De "Alternativas de explotación de la autopista ap-7 a su paso por la provincia de Alicante", por J. Melgarejo, 2018 (https://ineca-alicante.es/wp-content/uploads/2018/04/ESTUDIO-AP_7-completo-web-Ineca.pdf).

Nivel de Servicio F

Indica condiciones de flujo obligado. Esta circunstancia ocurre cuando el volumen de tráfico que se aproxima a un lugar supera el volumen que puede transitar por él. La velocidad de los vehículos es muy baja, se forman colas largas, donde la circulación es intermitente. Típico en "cuellos de botella" como se observa en la figura 7.

Figura 7

Nivel de Servicio F

Nota. De “Alternativas de explotación de la autopista ap-7 a su paso por la provincia de Alicante”, por J. Melgarejo, 2018 (https://ineca-alicante.es/wp-content/uploads/2018/04/ESTUDIO-AP_7-completo-web-Ineca.pdf).

4. METODOLOGÍA

La presente metodología tiene un nivel de investigación exploratoria ya que busca determinar el efecto de la tarificación vial en los usuarios de la vía con el propósito de reducir congestión. Para esto se plantean 2 escenarios de tarificación vial que son aplicados en el segmento Trébol de Javier Prado – Puente Santa Anita de la Vía Evitamiento. Esta investigación está dividida en 5 etapas, las cuales se irán desarrollando de manera progresiva a lo largo de todo el año propuesto para la elaboración de la tesis.

4.1 Planteamiento de Escenarios

A continuación, se muestran los escenarios planteados con aumentos y reducciones del peaje tentativos para la elaboración de las encuestas:

- Escenario 1: Variación en la tarifa para autos privados.
- Escenario 2: Variación en la tarifa vehículos de carga pesada.

4.2 Recolección de Datos Vehiculares

Se toma como data un conteo realizado en el peaje de la vía Evitamiento en el año 2023, en el cual se busca el flujo vehicular por horas en un mínimo de una semana típica.

4.2.1 Procesamiento de Datos Vehiculares

Los datos son trabajados en un ordenador para poder determinar las horas pico con las que trabaja las encuestas. Para facilitar el hallazgo de estas horas, agruparemos los vehículos contabilizados en dos categorías: particulares y carga pesada. Posteriormente se elabora gráficos de Flujo Vehicular vs Horas para escoger las horas con más demanda en la mañana, tarde y noche tanto para vehículos pesados y livianos. Es importante mencionar que las horas pico se toman de Norte a Sur y viceversa.

4.3 Encuestas de Preferencias Declaradas y Reveladas

El tipo de encuestas a realizar son de juicios declarados, puesto que, se plantean preguntas con situaciones hipotéticas que se aproximan a la realidad. Los temas centrales de estas preguntas son si los usuarios viales son capaces o no de cambiar su ruta, hora y/o modo de viaje a cambio de no recibir un aumento significativo del peaje o para obtener descuentos de los mismos. Además, en la misma encuesta se coloca preguntas de preferencias reveladas para así complementar la información brindada por el usuario y obtener datos adicionales que hacen este estudio más certero y afinado.

El número encuestas a realizar para vehículos particulares, carga pesada y taxis, se determina utilizando la ecuación 2 de población finita:

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{e^2 * (N-1) + (Z^2 * p * q)} \tag{2}$$

Donde:

- Z = Nivel de confianza (Pertinente a los valores de la tabla del Z)
- p = Porcentaje de la población que tiene el atributo deseado
- q = Porcentaje de la población que no tiene el atributo deseado
- N = Cantidad total del número de vehículos
- e = Error de estimación máximo aceptado
- n = cantidad de encuestas

4.3.1 Elaboración del Formato de la Encuesta

Con el fin de obtener rápidamente las preferencias y tendencias de los usuarios, se realiza encuestas con preguntas lo más breves y directas posibles para marcar con “sí” , “no”, “no sé” o “no aplica”. Puesto que, al ser una vía con alta congestión vehicular lo menos deseado es ayudar a que esta aumente.

4.3.2 Encuesta

Estas encuestas fueron realizadas de manera virtual por medio de SurveyMonkey.

4.3.3 Procesamientos de Datos de Encuestas

En este punto, las encuestas realizadas son llevadas a un ordenador para poder almacenarlas, clasificarlas por escenarios y poder ver las tendencias y preferencias de los usuarios. Se vuelven a realizar gráficos de Volumen vehicular vs. Horas para cada escenario.

4.4 Determinación de Elasticidad de Usuarios

En este punto se encuentra la elasticidad (E_t) del precio del peaje de la demanda del tráfico. Este paso es imprescindible puesto que, se puede responder la pregunta “¿qué tanto están dispuestos a pagar los usuarios para cambiar sus modos y horas de viaje?” y de esta manera poder establecer nuevos precios para las horas pico y no pico. La elasticidad (E_t) se puede determinar con la ecuación 3:

$$E_t = \frac{Vti - Vtn / Vti}{Tpi - Tpn \ / \ Tpi} \tag{3}$$

Donde:

Vtn = Volumen de tráfico nuevo

Vti = Volumen de tráfico inicial

Tpn = Tarifa de peaje nueva

Tpi = Tarifa de peaje inicial

E_t = Elasticidad del peaje de la demanda del tráfico

Nota: Cuando el valor de E_t sea negativo deberá multiplicarse por -1 por convención.

Existen dos tipos, la elástica cuando el E_t es mayor a 1, aquí la demanda de un bien es elástica cuando la respuesta de los consumidores ante el cambio de precio es significativa. La inelástica cuando el E_t es mayor a 0 pero menor a 1, aquí la demanda de un bien es inelástica cuando la respuesta de los consumidores ante el cambio de precio no es significativa.

4.5 Cálculo de Niveles de Servicio

Se evaluaron los diferentes escenarios propuestos y se mide los niveles de servicio de la vía actual y la que se estima que tendrá la vía ante una aplicación de un cobro por congestión. Estos se estiman de acuerdo a lo indicado en el capítulo 2. Para ello es necesario tomar en cuenta la ecuación 4 para el cálculo de la densidad:

$$D=\frac{V_p}{S} \tag{4}$$

Dónde:

- v = Razón de flujo (veh p/h)
- S = Velocidad promedio de viaje (km/h)
- D = Densidad (veh p/km/carril)

La densidad se refiere a la cantidad de vehículos que ocupan una determinada longitud de un camino o vía, y suele expresarse en coches por kilómetro (veh/km). La densidad posiblemente es el factor más relevante en el ámbito del tráfico, ya que es el indicador que tiene la relación más directa con la demanda de tráfico.

La variación del tráfico dentro de una hora, conocida como el factor de la hora punta, también es evaluada. Los volúmenes observados en el pico de 15 minutos dentro de una hora no se mantienen durante toda la hora, según las observaciones de tráfico. Es calculable utilizando la ecuación 5.

$$PHF = \frac{V}{4 * V_{15}} \tag{5}$$

Donde:

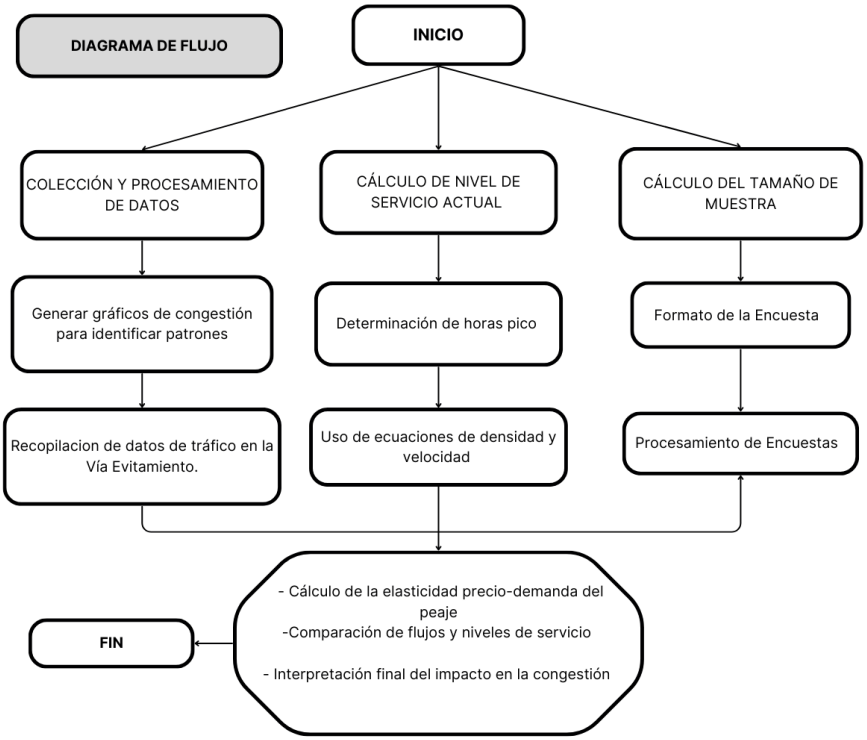
- PHF = Factor de Hora Pico.
- V = volumen en una hora (veh/h).
- V_{15} = volumen máximo de los 15 minutos en la hora pico (veh/15min).

Una indicación de las características del flujo de tráfico durante las horas pico es el factor de hora pico. La uniformidad se indica si este valor es igual a 1; las concentraciones de flujo máximo se indican por valores relativamente pequeños.

Se muestra a continuación el esquema de flujo que condensa las fases metodológicas del estudio. Este esquema visual inicia con la recolección y procesamiento de datos, para luego describir el cálculo del nivel de servicio y el tamaño de muestra, así como la formulación de encuestas y su posterior análisis. Finalmente, se exponen los pasos para determinar la elasticidad precio-demanda y comparar los flujos y niveles de servicio en cada escenario, culminando en la interpretación final de los resultados.

Figura 8

Diagrama de flujo del procedimiento a realizar



5. COLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

En el presente capítulo se detallan los resultados obtenidos en la investigación acordes con los objetivos planteados, los cuales son: analizar los datos obtenidos para genera gráficos que nos ayuden a identificar las horas picos para cada tipo de escenario planteado. Además, se obtienen gráficos adicionales como Tipos de vehículos por día, Categorías de vehículos por día y la congestión en una semana entera.

5.1. Procesamiento de datos vehiculares

En este proceso se utilizó el programa Excel para organizar a conveniencia los datos obtenidos. Se clasificó por escenarios y se graficó.

5.1.1. Gráficos del flujo vehicular

Se realizaron los siguientes gráficos con el fin de obtener la cantidad de vehículos que transitan por el peaje de Vía Evitamiento cada día de una semana típica en ambos sentidos, tanto Sur – Norte como Norte – Sur. Los datos son pertenecientes a una semana típica, exactamente del 10 al 16 de julio del 2023. En la figura 9 y 10 se logra apreciar que los días de máximo volumen vehicular son los martes para ambos sentidos.

Figura 9

Distribución de volúmenes diarios durante la semana (Sur – Norte)

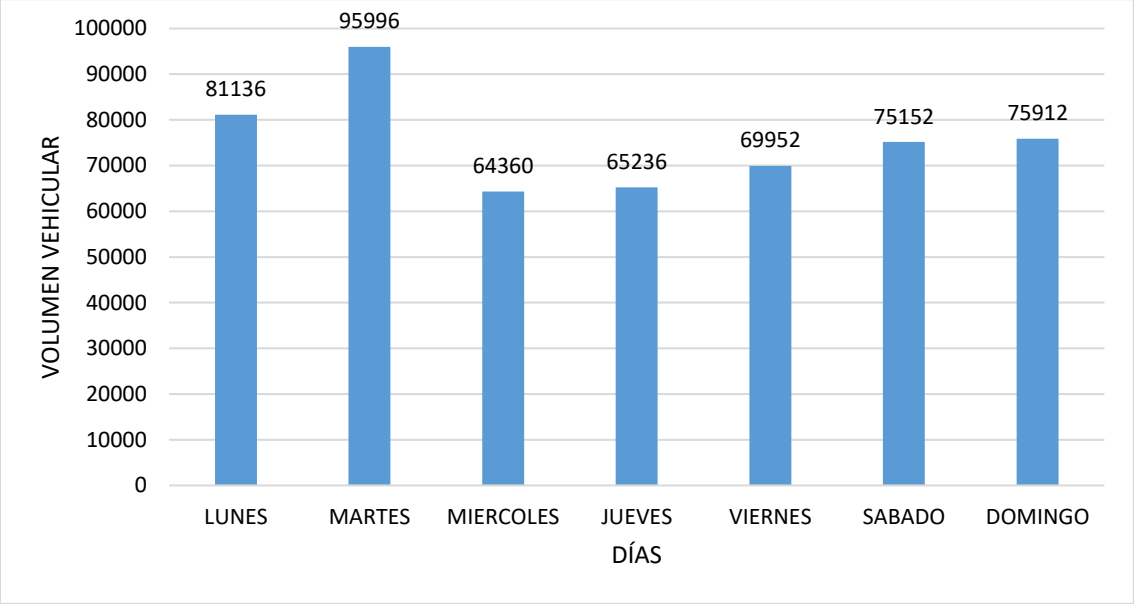
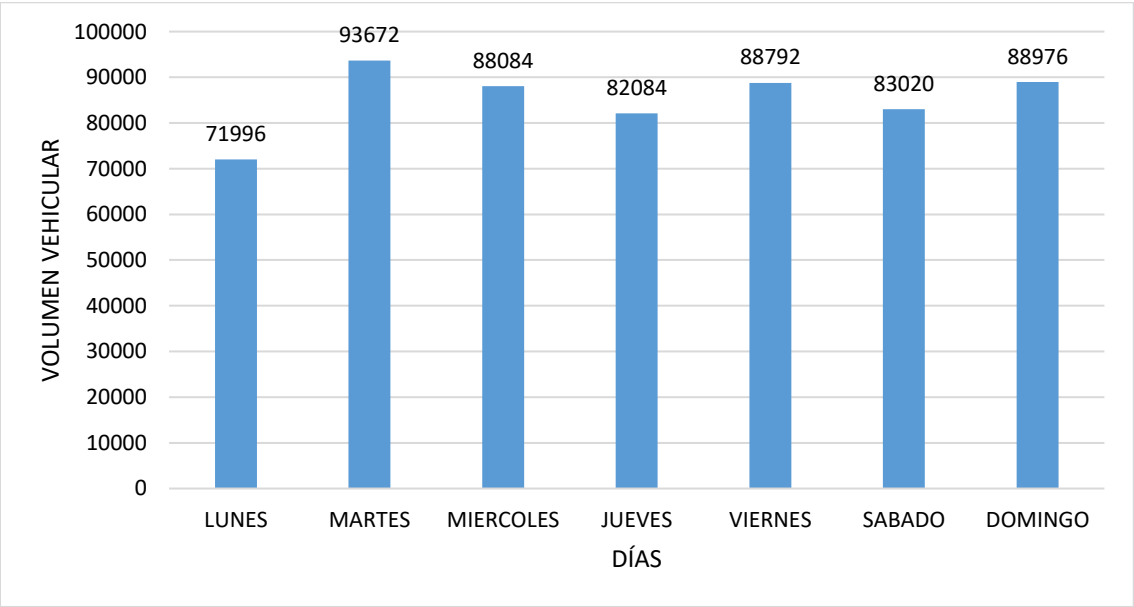


Figura 10

Distribución de volúmenes diarios durante la semana (Norte – Sur)



La tabla 1 se muestra que en el sentido S – N existe una variación de volúmenes casi constantes de hasta el 33%. Mientras que en la tabla 2, en el sentido N – S casi todos los días se mantienen en un rango del 5% al 15%, excepto el día lunes que llega a un pico de 23%.

Tabla 1

Variación del volumen vehicular con respecto al día de mayor volumen en el sentido Sur – Norte.

Día	Variación de volúmenes (Δ)
Lunes	15%
Martes	0%
Miércoles	33%
Jueves	32%
Viernes	27%
Sábado	22%
Domingo	21%

Tabla 2

Variación del volumen vehicular con respecto al día de mayor volumen en el sentido Norte – Sur.

Día	Variación de volúmenes (Δ)
Lunes	23%
Martes	0%
Miércoles	6%
Jueves	12%
Viernes	5%
Sábado	11%
Domingo	5%

5.1.2. Gráfico de congestión por categoría de vehículo

Para realizar un estudio más detallado y obtener datos más precisos sobre los vehículos que transitan por la Vía Evitamiento, el volumen de flujo total contabilizado fue dividido en categorías, estos se clasifican en vehículos ligeros, pesados y públicos.

La distribución por cada categoría de vehículo que transita en una semana, se encuentra en el Anexo A.

Por otro lado, en la figura 11 y 12 se muestran las curvas de tendencia de vehículos totales con respecto a vehículos ligeros, pesados y públicos durante toda la semana, tanto para el sentido de sur a norte como de norte a sur.

Figura 11

Curva de tendencia comparativa entre volúmenes totales, vehículos ligeros, pesados y públicos durante la semana en el sentido Sur – Norte

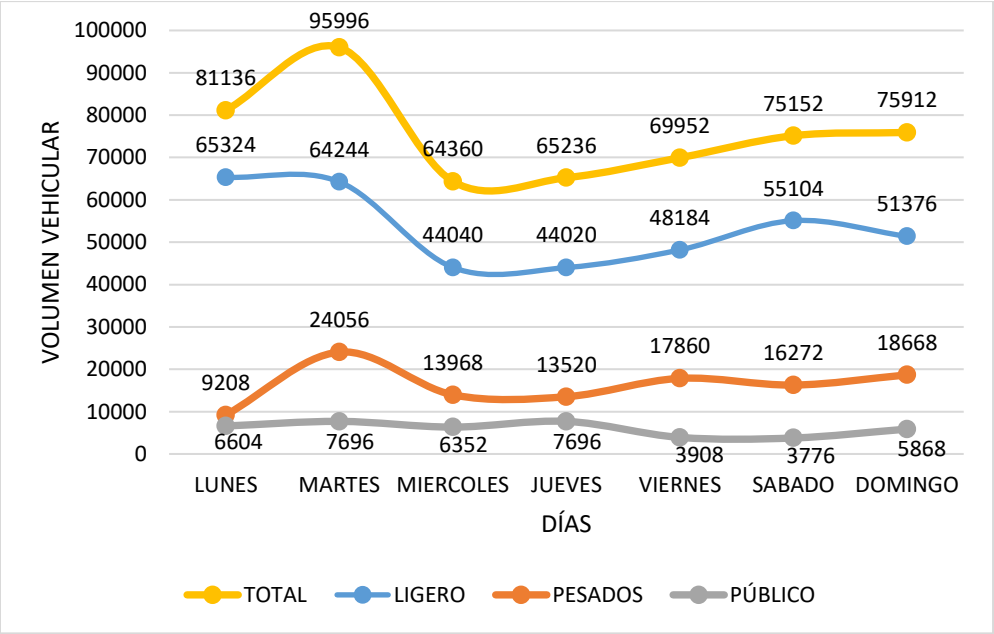
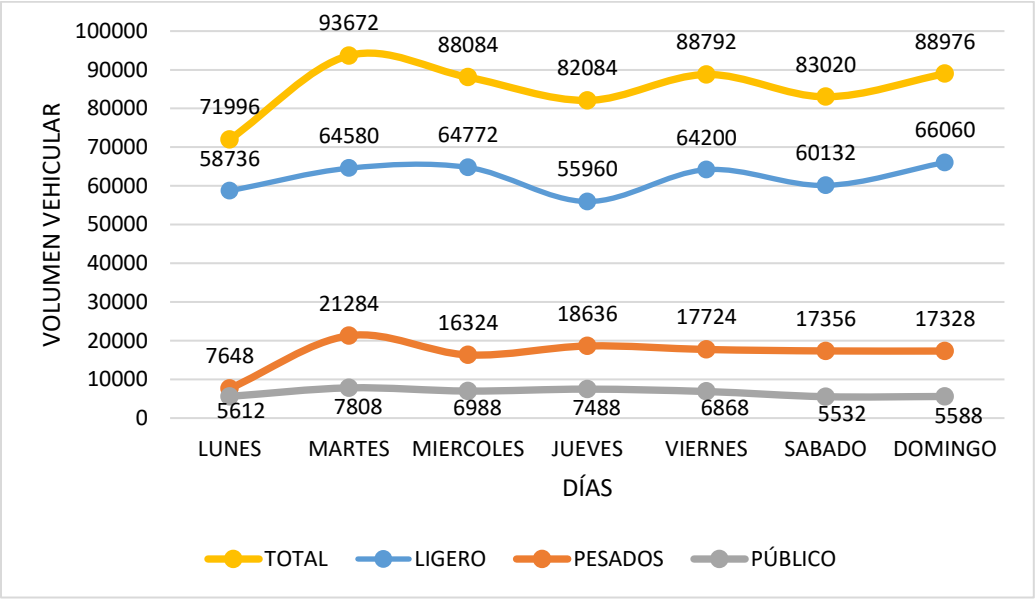


Figura 12

Curva de tendencia comparativa entre volúmenes totales, vehículos ligeros, pesados y públicos durante la semana en el sentido Norte – Sur



En las figuras 13 y 14 se puede observar la comparación de la cantidad de vehículos según su categoría que pasan cada día de la semana en la Vía Evitamiento. Además, se aprecia la clara predominancia de vehículos ligeros en ambos sentidos.

Figura 13

Distribución de vehículos ligeros, pesados y públicos durante la semana en el sentido Sur – Norte

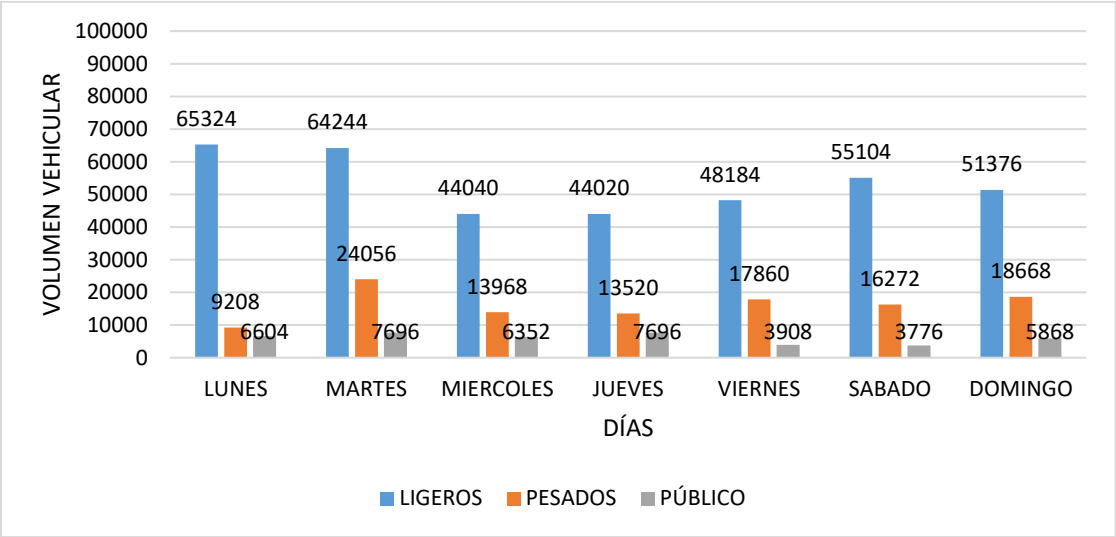
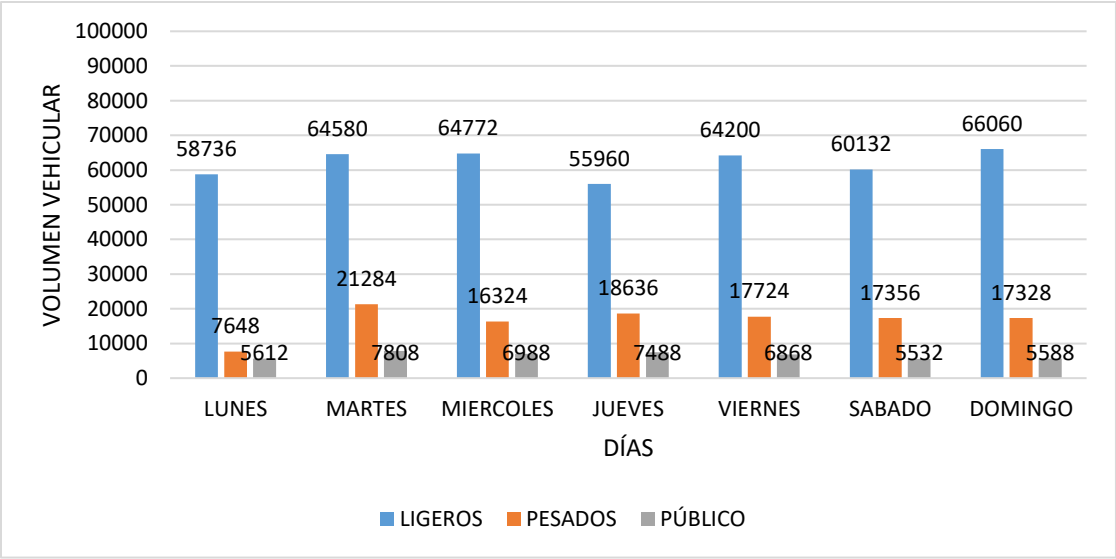


Figura 14

Distribución de vehículos ligeros, pesados y públicos durante la semana en el sentido Norte – Sur



En la tabla 3 y 4 se muestra el resumen del volumen exacto por categoría de vehículo y en las tablas 5 y 6 el porcentaje con respecto al total transitado por día.

Tabla 3

Volúmenes según categoría de vehículo durante la semana el sentido Sur – Norte

Día	Ligero	Pesado	Público	Total de vehículos
Lunes	65324	9208	6604	81136
Martes	64244	24056	7696	95996
Miércoles	44040	13968	6352	64360
Jueves	44020	13520	7696	65236
Viernes	48184	17860	3908	69952
Sábado	55104	16272	3776	75152
Domingo	51376	18668	5868	75912

Tabla 4

Volúmenes según categoría de vehículo durante la semana el sentido Norte – Sur

Día	Ligero	Pesado	Público	Total de vehículos
Lunes	58736	7648	5612	71996
Martes	64580	21284	7808	93672
Miércoles	64772	16324	6988	88084
Jueves	55960	18636	7488	82084
Viernes	64200	17724	6868	88792
Sábado	60132	17356	5532	83020
Domingo	66060	17328	5588	88976

Tabla 5

Porcentajes de las categorías de vehículos durante la semana en el sentido Sur – Norte

Día	Ligero	Pesado	Público
Lunes	81%	11%	8%
Martes	67%	25%	8%
Miércoles	68%	22%	10%
Jueves	67%	21%	12%
Viernes	69%	26%	6%
Sábado	73%	22%	5%
Domingo	68%	25%	8%

Tabla 6

Porcentajes de las categorías de vehículos durante la semana en el sentido Norte – Sur

Día	Ligero	Pesado	Público
Lunes	82%	11%	8%
Martes	69%	23%	8%
Miércoles	74%	19%	8%
Jueves	68%	23%	9%
Viernes	72%	20%	8%
Sábado	72%	21%	7%
Domingo	74%	19%	6%

5.1.3. Gráfico de congestión por tipo de vehículo

De los gráficos se puede observar la cantidad de vehículos según su tipo, que transitan cada día en un periodo de 7 días. Se observa que los autos predominan en la Vía Evitamiento, llegando a circular más 50 000 vehículos al día.

Los gráficos se encuentran en Anexos, mostrándose en el Anexo B los gráficos de congestión por tipo de vehículos de lunes a domingo en el sentido de sur a norte y los gráficos de congestión por tipo de vehículos de lunes a domingo en el sentido de norte sur en el Anexo C.

5.1.4. Gráfico de congestión por horas

Para poder detectar las horas con mayor cantidad de flujo vehicular que pasa por el peaje cada día de esta semana típica se realizaron gráficos de flujo vehicular versus hora basados en los datos obtenidos desde el 10 hasta el 16 de julio del 2023.

Los gráficos se encuentran en Anexos, mostrándose en el Anexo D los gráficos de congestión por horas de lunes a domingo en el sentido de sur a norte y los gráficos de congestión por horas de lunes a domingo en el sentido de norte a sur en el Anexo E.

6. CÁLCULO DE NIVEL DE SERVICIO ACTUAL

Con los gráficos obtenidos se pueden determinar cuáles son las horas picos de cada día tanto para la mañana, tarde y noche. Para ello, primero se determina el volumen de hora pico como se muestra en la tabla 7 y 8.

Tabla 7

Volúmenes de las horas pico en el sentido Sur – Norte.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	4580	7064	7804
Martes	5328	7700	8664
Miércoles	4516	4380	6384
Jueves	3764	5444	6248
Viernes	4912	4972	5040
Sábado	4508	5860	5512
Domingo	4988	5584	5432

Tabla 8

Volúmenes de las horas pico en el sentido Norte – Sur.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	6224	5760	3580
Martes	7796	5744	5684
Miércoles	6072	5648	4944
Jueves	5340	5628	4664
Viernes	6292	5864	4712
Sábado	7664	6460	4492
Domingo	6136	6172	4852

En segundo lugar, como se muestra en la tabla 9 y 10 se ubica el cuarto de hora exacto de la hora pico.

Tabla 9

Horas pico en el sentido Sur – Norte.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	11:45:00	17:45:00	18:30:00
Martes	09:00:00	17:45:00	18:30:00
Miércoles	09:30:00	17:30:00	18:45:00
Jueves	07:30:00	17:45:00	18:30:00
Viernes	10:00:00	12:00:00	18:00:00
Sábado	11:45:00	12:45:00	19:30:00
Domingo	08:30:00	17:15:00	19:00:00

Tabla 10

Horas pico en el sentido Norte – Sur.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	10:30:00	12:00:00	18:00:00
Martes	07:30:00	12:00:00	18:30:00
Miércoles	07:30:00	15:15:00	18:45:00
Jueves	09:30:00	16:00:00	21:00:00
Viernes	11:45:00	15:00:00	18:00:00
Sábado	11:30:00	12:00:00	18:00:00
Domingo	09:30:00	12:15:00	21:45:00

En tercer lugar, se determina el volumen máximo de vehículos por 15 minutos en la hora pico como se muestra en la tabla 11 y 12. Estos datos son necesarios para calcular el factor hora pico (FHP).

Tabla 11

Volumen máximo de los 15 minutos en la hora pico en el sentido Sur – Norte.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	1232	1892	2100
Martes	1476	2252	2252
Miércoles	1276	1264	1848
Jueves	1076	1796	1796
Viernes	1596	1624	1472
Sábado	1192	1736	1596
Domingo	1596	1468	1772

Tabla 12

Volumen máximo de los 15 minutos en la hora pico en el sentido Norte – Sur.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	1628	1464	964
Martes	2148	1912	1656
Miércoles	1932	1648	1628
Jueves	1764	1500	1280
Viernes	1788	1652	1284
Sábado	2672	1812	1168
Domingo	1636	1872	1516

En cuarto lugar, se determina el factor de hora pico (FHP) para ambos sentidos como se muestra en la tabla 13 y 14.

Tabla 13

Factor de la hora pico en el sentido Sur – Norte

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	0.93	0.93	0.93
Martes	0.90	0.85	0.96
Miércoles	0.88	0.87	0.86
Jueves	0.87	0.76	0.87
Viernes	0.77	0.77	0.86
Sábado	0.95	0.84	0.86
Domingo	0.78	0.95	0.77

Tabla 14

Factor de la hora pico en el sentido Norte – Sur

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	0.96	0.98	0.93
Martes	0.91	0.75	0.86
Miércoles	0.79	0.86	0.76
Jueves	0.76	0.94	0.91
Viernes	0.88	0.89	0.92
Sábado	0.72	0.89	0.96
Domingo	0.94	0.82	0.80

Se establece el equivalente de autos para camiones y buses (E_t). Para ello, se utilizó la figura 15:

Figura 15

Equivalentes de autos para buses y camiones en pendientes ascendentes uniformes

Upgrade (%)	Length (km)	E_T Percentage of Trucks and Buses								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
<2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
≥ 2–3	0.0–0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4–0.8	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.8–1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.2–1.6	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.6–2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 2.4	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
> 3–4	0.0–0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4–0.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	> 0.8–1.2	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 1.2–1.6	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 1.6–2.4	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 2.4	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
> 4–5	0.0–0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4–0.8	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.8–1.2	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 1.2–1.6	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.6	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
> 5–6	0.0–0.4	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4–0.5	4.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.5–0.8	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 0.8–1.2	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.2–1.6	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.6	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
> 6	0.0–0.4	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.4–0.5	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.5–0.8	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.8–1.2	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0
	> 1.2–1.6	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5
	>1.6	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0

Nota: Mediante las pendientes de los tramos de una vía se puede obtener el valor de (E_t). Adaptado

de “Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales”, por V. Naranjo, 2008 (https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7220).

Teniendo en cuenta que la vía Evitamiento cuenta con pendientes menores al 2%, el valor para E_t es:

$$E_t = 1.5$$

Otro factor que se debe determinar es el de tipo de usuarios (fp), y teniendo que en cuenta que ambos sentidos el porcentaje de vehículos livianos es muy elevado con respecto al total, se aplica un factor de:

$$f_p = 0.95$$

En esta investigación se trabaja con un factor de flujo libre (FFS) igual a:

$$FFS = 80Km/h$$

Por último, el número de carriles (N) con el que cuenta la Vía Evitamiento es de:

$$N = 4$$

Teniendo en cuenta las constantes establecidas y el factor de hora pico, se determina el factor de ajuste por vehículos pesados (f_{HV}) para ambas direcciones. Para hallar el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados, se utiliza la ecuación 6:

$$f_{HV} = \frac{1}{1+P_T*(E_T-1)} \tag{6}$$

Donde:

E_T= Automóviles de pasajeros equivalentes para camiones y autobuses (vehículos pesados)

P_T= La participación de camiones y autobuses en el flujo de tráfico reflejada en la fracción decimal.

En las tablas 15 y 16 se encuentran los valores de f_{HV} de toda la semana, ya sea en el sentido de Sur a Norte como de Norte a Sur.

Tabla 15

Ajuste del factor por automóviles de carga pesada en la dirección Sur-Norte

Día	Factor de ajuste por vehículo pesado (f_{HV})
Lunes	0.95
Martes	0.89
Miércoles	0.90
Jueves	0.91
Viernes	0.89
Sábado	0.90
Domingo	0.89

Tabla 16

Factor de ajuste por vehículos pesados en el sentido Norte – Sur

Día	Factor de ajuste por vehículo pesado (f_{HV})
Lunes	0.95
Martes	0.90
Miércoles	0.92
Jueves	0.90
Viernes	0.91
Sábado	0.91
Domingo	0.91

Luego, se procede a determinar la tasa de flujo (Vp) para ambas direcciones y se utiliza la ecuación 7:

$$V_p = \frac{V}{FHP*N*f_p*f_{HV}} \tag{7}$$

Donde:

- V_p = Avance de 15 minutos para vehículos de pasajeros equivalentes (pc/h/ln)
- V = Volumen horario (veh/h)
- FHP = Factor hora pico
- N = Cantidad de carriles
- f_{HV} = Ajuste del factor para automóviles de carga pesada
- f_p = Factor por tipo de usuarios

En las tablas 17 y 18 se muestran los valores de V_p de toda la semana en los dos sentidos.

Tabla 17

Tasa de flujo en el sentido Sur – Norte

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	1370	2105	2336
Martes	1748	2668	2668
Miércoles	1489	1475	2156
Jueves	1250	2086	2086
Viernes	1894	1928	1747
Sábado	1391	2025	1862
Domingo	1887	1735	2095

Tabla 18

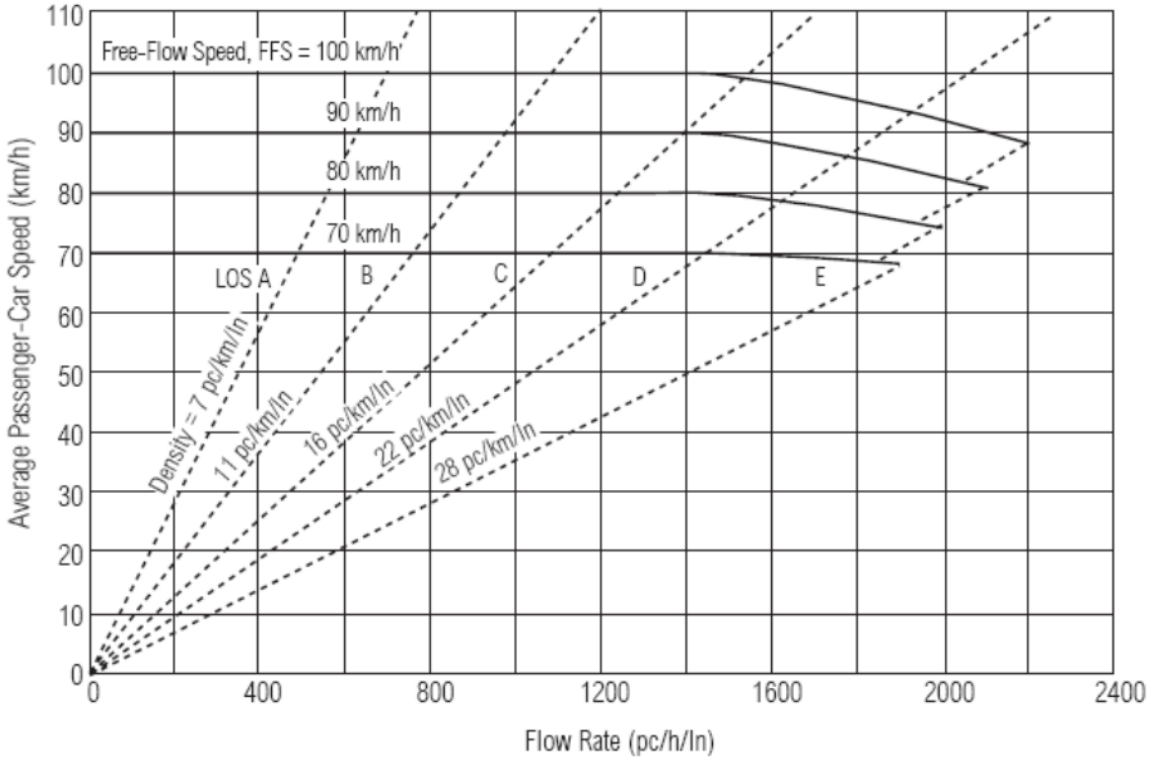
Tasa de flujo en el sentido Norte – Sur

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	1805	1623	1069
Martes	2518	2241	1941
Miércoles	2222	1895	1872
Jueves	2068	1758	1500
Viernes	2070	1913	1486
Sábado	3107	2107	1358
Domingo	1890	2162	1751

Después de haber calculado el valor de V_p y teniendo en cuenta que en esta investigación se trabaja con un factor de flujo libre de 80 km/h, es imprescindible realizar un reajuste en la velocidad promedio (S) que se utiliza para hallar la densidad. Este reajuste define que para tasas menores a 1500 pc/h/ln el factor de flujo libre es igual a la velocidad promedio, es decir: FFS = S. Sin embargo, cuando esta tasa es mayor a 1500, hay una desigualdad y se debe calcular. A continuación, se muestra la figura 16 que define los valores de la velocidad promedio:

Figura 16

Criterio de Nivel de Servicio con las curvas de: Avance de 15 minutos para vehículos de pasajeros equivalentes en comparación con la velocidad de flujo libre.



Nota: Mediante los valores de V_p y FFS se puede determinar la densidad, velocidad promedio de viaje y el nivel de servicio de la vía. Adaptado de "Análisis de la capacidad y nivel de servicio de

las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales", por V. Naranjo, 2008 (https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7220).

Se crearon ecuaciones para cada curva mostrada en la tabla anterior y se utilizó Excel para determinar las nuevas velocidades en ambos sentidos como se muestra en la tabla 19 y 20.

Tabla 19

Velocidad promedio de viaje el sentido Sur – Norte

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	80	74	72
Martes	78	68	68
Miércoles	80	80	73
Jueves	80	74	74
Viernes	76	76	78
Sábado	80	75	76
Domingo	76	78	74

Tabla 20

Velocidad promedio de viaje el sentido Norte – Sur

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	77	79	80
Martes	70	73	76
Miércoles	73	76	76
Jueves	74	77	80
Viernes	74	76	80
Sábado	65	74	80
Domingo	76	73	77

Para calcular la densidad del flujo (D) para ambos sentidos, se utilizó la ecuación 4. Las tablas 21 y 22 muestran las densidades de toda la semana para la mañana, tarde y noche de cada día.

Tabla 21

Densidad de flujo en el sentido Sur – Norte

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	17	28	33
Martes	23	39	39
Miércoles	19	18	29
Jueves	16	28	28
Viernes	25	25	23
Sábado	17	27	24
Domingo	25	22	28

Tabla 22

Densidad de flujo en el sentido Norte – Sur.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	23	21	13
Martes	36	31	26
Miércoles	31	25	25
Jueves	28	23	19
Viernes	28	25	19
Sábado	48	28	17
Domingo	25	29	23

Por último, utilizando el criterio de la densidad, se determina el Nivel de Servicio en ambos sentidos para los horarios de mañana, tarde y noche de toda la semana. La tabla 23 muestra los parámetros que nos ayudan a determinar los niveles de servicio que tiene este estudio.

Tabla 23

Criterio de densidad para determinar los niveles de servicio en carreteras multicarril

FFS	A	B	C	D	E
100	7	11	16	22	25
90	7	11	16	22	26
80	7	11	16	22	27
70	7	11	16	22	28

A continuación, se muestran los niveles de servicios encontrados en las tablas 24 y 25.

Tabla 24

Nivel de Servicio en el sentido Sur – Norte

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	D	E	E
Martes	E	E	E
Miércoles	D	D	E
Jueves	C	E	E
Viernes	E	E	E
Sábado	D	E	E
Domingo	E	E	E

Tabla 25

Nivel de Servicio en el sentido Norte – Sur.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	E	D	C
Martes	E	E	E
Miércoles	E	E	E
Jueves	E	E	D
Viernes	E	E	D
Sábado	E	E	D
Domingo	E	E	E

6.1 Validación de la viabilidad de usar tablas de otras vías (caso: Manizales) en la evaluación de la tarificación vial en Lima

Una comparación exhaustiva de factores importantes, incluyendo la infraestructura vial, los patrones de tráfico y las circunstancias socioeconómicas, respalda la legitimidad de utilizar datos de la ciudad de Manizales en esta investigación. Los criterios de validación enumerados a continuación están respaldados por evidencia estadística y apoyo metodológico.

6.1.1 Comparación de Infraestructura Vial y Condiciones Topográficas

- Características Geográficas

El terreno accidentado de ambas ciudades, que incluye pendientes pronunciadas, tiene una influencia considerable en el tráfico vehicular.

- Manizales: Ubicada a 2,160 msnm, con un pendiente promedio del 6% en sus vías de acceso principales (Secretaría de Movilidad de Manizales, 2022).

- Lima (Vía de Evitamiento): Situada a 154 msnm, pero con tramos viales de pendientes superiores al 4% en sectores críticos como el Trébol de Javier Prado y Nicolás Ayllón (Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC], 2023).

Lima es una metrópoli marina, pero la Vía de Evitamiento tiene elementos topográficos similares a Manizales. Esto permite la extrapolación de las cifras de rendimiento vehicular y demanda de transporte.

- Configuración Vial y Capacidad de la Infraestructura

  Se comparan los peajes y otras técnicas de gestión de la demanda de transporte, ya que los datos a continuación demuestran que ambas infraestructuras funcionan a máxima capacidad o desbordan.

Tabla 26

Contrastación de características de ambas vías.

Característica	Manizales (Vías de Acceso)	Vía de Evitamiento - Lima
Número de carriles	2 a 3 por sentido	3 a 4 por sentido
Flujo vehicular	35,000 vehículos/día	42,000 vehículos/día
Pendiente promedio	6%	4% a 5% en tramos críticos
Nivel de Servicio (NS) en horas pico	NS D - E	NS D - E
Velocidad promedio en horas pico	18 km/h	22 km/h
Tiempo promedio de recorrido en tramo evaluado	25 min para 10 km	28 min para 10 km

6.1.2 Comparación de Infraestructura Vial y Condiciones Topográficas

- Volumen Vehicular y Horas Pico

Tabla 27

Volumen vehicular de ambas vías.

Horario	Manizales (Volumen p/h)	Lima (Vía Evitamiento - Volumen p/h)
06:00 - 09:00	2,800 - 3,100	3,500 - 4,000
17:00 - 20:00	3,000 - 3,400	3,800 - 4,200

Con modificaciones en la modelización del tráfico, los impactos del peaje en Manizales podrían duplicarse en el Bypass de Lima, dado que los números de volumen de vehículos muestran un patrón de congestión similar.

- Elasticidad Precio-Demanda en Tarificación Vial

La elasticidad de la demanda en reacción a las variaciones en los peajes es uno de los principales determinantes de la tarificación vial. Elasticidades a las que se puede hacer referencia han sido establecidas por estudios realizados en Manizales y otras ciudades con características comparables:

Tabla 28

Elasticidad precio-demanda de ambas vías.

Ciudad	Elasticidad Precio-Demanda	Fuente
Manizales	-0.35	(Giraldo et al., 2022)
Quito	-0.4	(López & Herrera, 2021)
Santiago	-0.38	(Ríos et al., 2023)
Lima (estimado)	-0.32 a -0.37	(MTC, 2023)

Un aumento del 10% en la tarifa de peaje reducirá el tráfico en Lima entre un 3.2% y un 3.7%, según la elasticidad negativa, lo cual es consistente con los resultados observados en Manizales y otras ciudades.

6.1.3 Impacto Potencial de la Tarificación Vial en Lima Basado en Datos de Manizales

Las siguientes consecuencias se observaron tras la introducción de peajes diferenciados por tiempo, según los estudios de tarificación vial de Manizales:

- Reducción del tráfico en horas pico: Disminución del flujo vehicular en un 12% a 18% en vías de acceso principales.
- Incremento en la velocidad promedio: Mejora del 15% al 20% en velocidad promedio de circulación.

- Mayor uso del transporte público: Aumento del 9% en la demanda de buses interurbanos.

Cuando estas cifras se modifiquen para reflejar la Vía de Evitamiento actual en Lima, se anticipan los siguientes resultados:

- Reducción del tráfico entre 10% y 15% en horas pico.
- Aumento de la velocidad promedio de 22 km/h a 26 km/h.
- Desviación del 8% de vehículos particulares a transporte público.

6.1.4 Justificación del uso de datos de Manizales en el modelo de simulación para Lima

Los protocolos de transmisión de datos y la calibración del modelo de tráfico son necesarios para confirmar el uso de los datos de Manizales en la investigación sobre la tarificación vial en la Vía de Evitamiento de Lima. Las estrategias metodológicas que respaldan esta comparación son las siguientes.

- Modelos de transferencia de datos

A través de modificaciones basadas en factores como estos, los modelos de transferencia de datos permiten la extrapolación de información de una ciudad a otra con características comparables:

- Densidad vehicular promedio.
- Velocidad de circulación en condiciones normales y de congestión.
- Elasticidad precio-demanda en corredores urbanos.
- Distribución modal del transporte público y privado.

Según Ben-Akiva y Lerman (2022) afirman que los modelos de transferencia se han aplicado a la planificación del transporte urbano en lugares donde los datos precisos son difíciles de obtener.

Aplicar estos modelos a las situaciones de Manizales y Lima implica modificar los factores de demanda de tráfico para tener en cuenta las variaciones en:

- Ingreso per cápita: El nivel de ingresos influye en la dependencia del transporte privado y la sensibilidad al costo de peajes.
- Uso del transporte público: En Lima, el 70% de los viajes diarios se realizan en transporte público (Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU), 2023), mientras que en Manizales el 60% (Secretaría de Movilidad de Manizales, 2022).
- Tasa de motorización: En Manizales hay 190 vehículos por cada 1,000 habitantes, mientras que en Lima esta cifra alcanza 220 vehículos por cada 1,000 habitantes (MTC, 2023).

7. CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA

Para poder conocer el número de encuestas a realizar es necesario saber el tamaño de la muestra, para ello fue necesario determinar ciertos parámetros que se observan a continuación.

- Tamaño de la población o universo (N)

  Se determinó que el universo es la población total de los distritos de San Luis, Santa Anita, La Molina, San Borja y Ate, la cual actualmente es de 1 '304,110 de habitantes según las estimaciones del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

$$N = 1\,'304{,}110$$

- Elemento estadístico que se relaciona con el grado de confianza (Z)

  Se determinó que el nivel de confianza es de 80% y por lo tanto el valor que se toma para Z es de 1.28 según la tabla 29.

Tabla 29

Nivel de confianza y valor crítico

Nivel de confianza	Valor Z
80.00%	1.28
90.00%	1.65
95.00%	1.96
98.00%	2.33
99.00%	2.58
99.80%	3.08
99.90%	3.27

Nota: Mediante el nivel de confianza, que es definido por el investigador, este puede determinar el valor de Z. Adaptado de "Estadística. 4ta Edición", por M. Spiegel y S. Larry, 2009 (https://pubhtml5.com/skfd/ehri/basic/).

- Máximo error de estimación admitido (e)
- Se estableció que el defecto de muestreo azaroso resultante de la elaboración de esta tesis es del 5%.
- Posible ocurrencia del evento analizado (p)
- Normalmente para determinar el valor de p es necesario tener investigaciones pasadas, pero debido a que esta es una propuesta nueva y nunca antes ha sido realizada en el Perú, el valor de p es de 50%.
- Posibilidad de que el evento analizado no suceda (q)

Para calcular el valor de q se utilizó la ecuación 8:

$$q = 1 - p \tag{8}$$

Por lo tanto, el valor de q es de 50%.

Establecidos los parámetros de la muestra se realiza el cálculo para determinar el tamaño de la muestra utilizando la ecuación 2.

$$n = \frac{1\,'304{,}110 * 1.28^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (1\,'304{,}110 - 1) + 1.28^2 * 0.5}$$

$$n = 164$$

Por lo tanto, el tamaño de muestra es de 164. Esto quiere decir que se tienen que realizar por lo mínimo 164 encuestas.

8. FORMATO DE LA ENCUESTA

8.1. Realización de preguntas de preferencias reveladas

Se elabora una sola encuesta virtual que incluye tres escenarios: usurarios de vehículos ligeros, pesados y de transporte público. Las preguntas de preferencias reveladas son muy simples y servirán para enriquecer la base de datos. La primera pregunta de la encuesta es:

- ¿Con qué tipo de vehículo transita por la Vía Evitamiento?

Vehículo ligero / Vehículo de carga pesada / Transporte público

A partir de esta pregunta se diferencia las posteriores según lo que hayan elegido

8.1.1. Preguntas para conductores de vehículos ligeros

- ¿Cuál es su motivo de viaje más frecuente?

  Estudio / Trabajo / Negocios / Otros / NR

- Considera que su tiempo de viaje es:

  Muy corto / Corto / Razonable / Largo / Muy largo

- Considera que el costo del peaje es:

Muy bajo / Bajo / Razonable / Alto / Exagerado

8.1.2. Preguntas para conductores de vehículos pesados

- Número de ejes del vehículo: ____ (Elección de 2 a 9)

- Considera que su tiempo de viaje es:

Muy corto / Corto / Razonable / Largo / Muy largo

- Considera que el costo del peaje es:

Muy bajo / Bajo / Razonable / Alto / Exagerado

8.1.2.1. Relevancia del número de ejes para el estudio

De hecho, recopilar información sobre el número de ejes de los coches es crucial para el estudio, ya que tiene en cuenta cómo afectan la congestión del tráfico y los precios de las carreteras. Los siguientes son los puntos principales que apoyan su inclusión:

- Tarificación Diferenciada por Ejes

El documento indica que la tarifa del peaje se establece por eje del vehículo, con valores como S/. 9.40 por eje en horas pico y S/. 6.60 por eje en horario regular. Esto significa que los camiones y buses con más ejes pagan tarifas más altas, lo que puede influir en sus decisiones de tránsito, como:

  - ✓ Cambiar de ruta para evitar el peaje.
  - ✓ Ajustar sus horarios de circulación a franjas con tarifas reducidas.

- Impacto en la Modelación del Tráfico

El número de ejes también es clave para calcular el factor de equivalencia de vehículos pesados (ETC), que permite convertir el tráfico de camiones y buses en unidades equivalentes de autos ligeros. Esto afecta el análisis de:

  - ✓ Capacidad de la vía: Un camión de seis ejes equivale a varios autos en términos de espacio vial y desgaste de la infraestructura.
  - ✓ Niveles de servicio: A mayor presencia de vehículos pesados, menor fluidez del tráfico.

- Encuestas a Conductores de Vehículos Pesados

En las encuestas realizadas en la investigación, se pregunta a los conductores de vehículos pesados cuántos ejes tiene su vehículo, y se observó que la mayoría de los encuestados usa vehículos de 6 ejes. Esta información es crucial para segmentar a los usuarios y evaluar el impacto del peaje en su comportamiento.

8.1.3. Preguntas para usuarios de transporte público

- ¿Cuál es su motivo de viaje más frecuente?

Estudio / Trabajo / Negocios / Otros / NR

- Considera que su tiempo de viaje es:

Muy corto / Corto / Razonable / Largo / Muy largo

8.2. Realización de preguntas de preferencias declaradas

A través de las horas picos obtenidos anteriormente, se busca elaborar preguntas con la finalidad saber si los usuarios de vehículos ligeros, pesados y transporte público podrían o no cambiar sus horarios de viaje, rutas o modos. Todas las preguntas se basan en brindar incentivos en el peaje (descuentos) o penalidades (aumentos) a los usuarios.

8.2.1. Preguntas para conductores de vehículos ligeros

Las preguntas sobre modo son:

- Si el peaje aumenta de S/. 6.60 a S/. 9.40 de 7:00 a.m. – 10:00 a.m., estaría dispuesto a ir en:

Transporte Público / Taxi / Auto propio

- Si el peaje aumenta de S/. 6.60 a S/. 9.40 de 5:00 p.m. – 9:00 p.m., estaría dispuesto a ir en:

Transporte Público / Taxi / Auto propio

Las preguntas sobre horario son:

- Si el peaje disminuye de S/. 6.60 a S/. 1.90 de 11:00 p.m. – 5:00 a.m., ¿estaría dispuesto a cambiar su hora usual de viaje a este periodo?:

Sí / No / No sé / No aplica

- Si el peaje disminuye de S/. 6.60 a S/. 1.90 de 12:00 p.m. – 3:00 p.m., ¿estaría dispuesto a cambiar su hora usual de viaje a este periodo?:

Sí / No / No sé / No aplica

La pegunta sobre ruta es:

- Para evitar pagar el aumento del peaje en las horas pico, ¿transitaría por otra vía?:

Sí / No / No sé / No aplica

8.2.2. Preguntas para conductores de vehículos pesados

Para este caso, se omitirán las preguntas de modo puesto que se entiende que es el único modo de transporte que se adecua a sus labores.

Las preguntas sobre horario son:

- Si por cada eje el peaje disminuye de S/. 6.60 a S/. 1.90 de 11:00 p.m. – 5:00 a.m., ¿estaría dispuesto a cambiar su hora usual de viaje a este periodo?:

Sí / No / No sé / No aplica

- Si por cada eje el peaje disminuye de S/. 6.60 a S/. 1.90 de 12:00 p.m. – 3:00 p.m., ¿estaría dispuesto a cambiar su hora usual de viaje a este periodo?:

Sí / No / No sé / No aplica

- Si por cada eje el peaje aumenta de S/. 6.60 a S/. 9.40 de 7:00 a.m. – 10:00 a.m., ¿estaría dispuesto a cambiar su hora usual de viaje?:

Sí / No / No sé / No aplica

- Si por cada eje el peaje aumenta de S/. 6.60 a S/. 9.40 de 5:00 p.m. – 9:00 p.m., ¿estaría dispuesto a cambiar su hora usual de viaje?:

Sí / No / No sé / No aplica

La pregunta sobre ruta es:

- Para evitar pagar el aumento del peaje en las horas pico, ¿transitaría por otra vía?:

Sí / No / No sé / No aplica

8.2.3. Preguntas para usuarios de transporte público

Puesto que las encuestas son viralizadas en las redes sociales, no se puede evitar que algunos de los encuestados sean usuarios de transporte público, y para ellos las preguntas son las siguientes:

- ¿Cuál es su costo promedio de pasaje cuando viaja por la Vía Evitamiento?:

S/. 0.50 / S/. 1.00 / S/. 1.20 / S/. 1.50 / S/. 2.00 / S/. 2.50 / Otro

- ¿Quién cree que es el principal causante del tráfico en la Vía Evitamiento?:

Vehículos ligeros / Vehículos pesados / Transporte público

- Con el fin de reducir el tráfico, ¿le parece buena idea que se aumente el costo peaje para autos particulares, taxis y vehículos pesados en las horas pico?:

Sí / No / No sé / No aplica

9. PROCESAMIENTO DE ENCUESTAS

Se procesaron las encuestas en Excel, obteniendo gráficos por cada pregunta realizada a los usuarios, ya sean conductores de vehículos ligeros, vehículos pesados y pasajeros de transporte público.

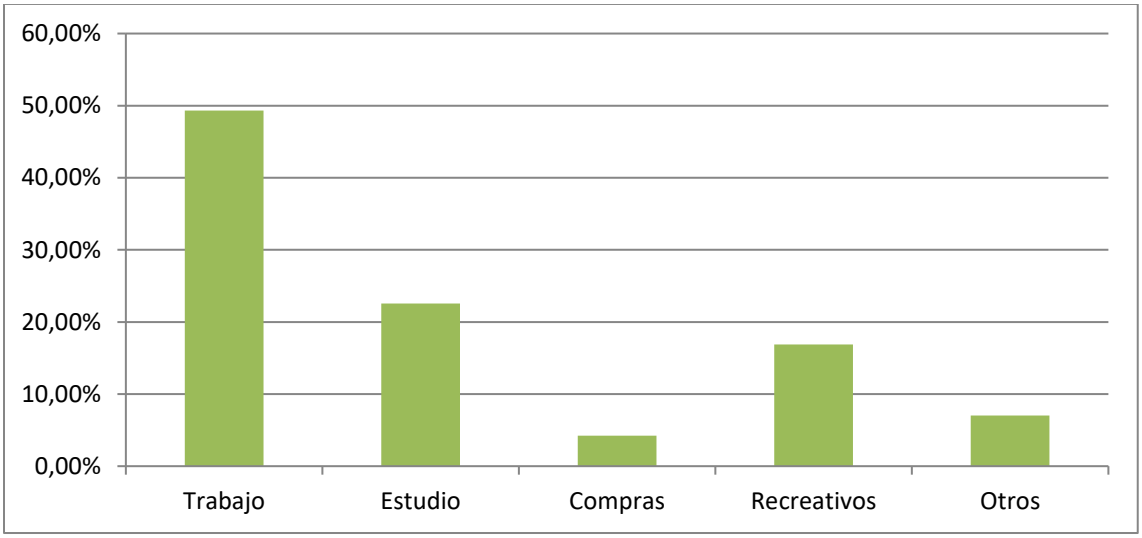
9.1. Data y gráficos de encuestas para conductores de vehículos ligeros

Se realizaron un total de ocho preguntas a los conductores de vehículos ligeros, con ello se generaron gráficos a partir de cada pregunta realizada. Estas son las que se muestran continuación.

Pregunta 1: ¿Cuál es su motivo de viaje más frecuente?

Figura 17

Gráfico de barras: Motivos de viajes más frecuentes de conductores de vehículo ligero

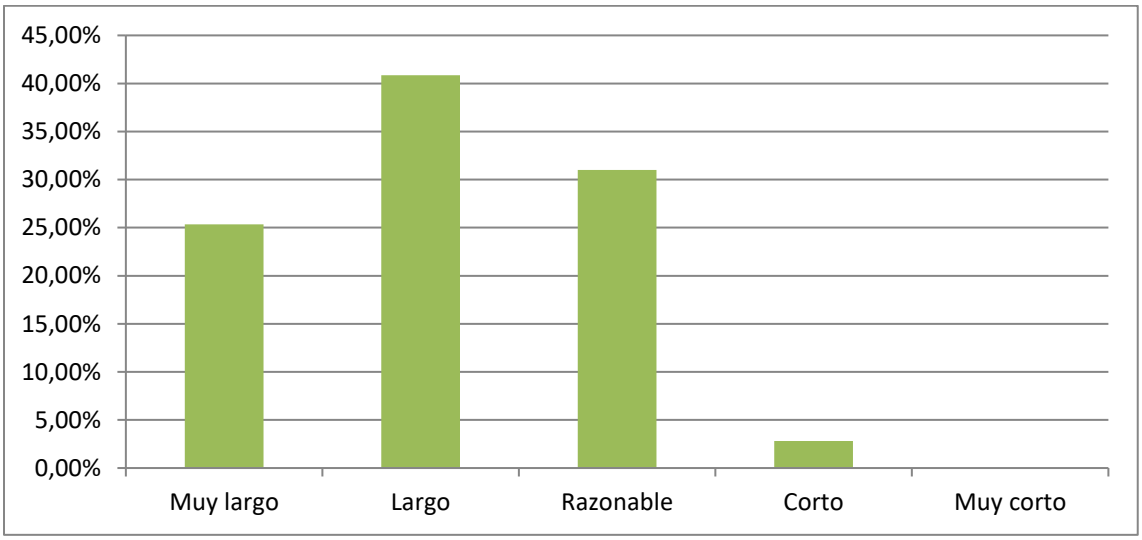


En la figura 17 se observa que un 49.30% viaja por motivo de trabajo, un 22.54% por estudio, un 16.9% por motivos recreativos, un 4.23% por compras y un 7.04% por otros motivos.

Pregunta 2: Considera que su tiempo de viaje es:

Figura 18

Gráfico de barras: Percepción del tiempo de viaje por la Vía Evitamiento de conductores de vehículo ligero

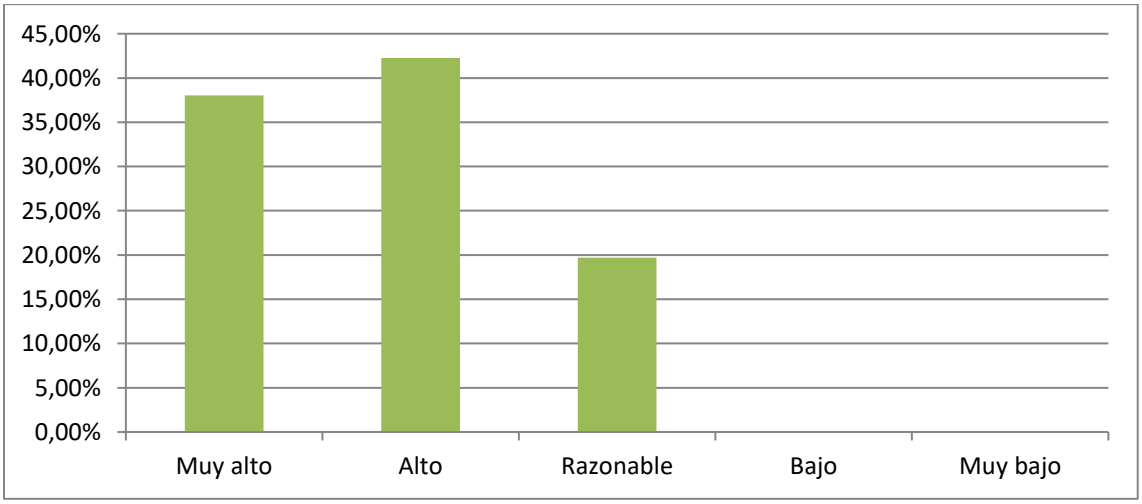


En la figura 18 se observa que un 25.35% percibe un tiempo de viaje muy largo, un 40.85% largo, un 30.99% razonable y un 2.82% corto.

Pregunta 3: Considera que el costo del peaje es:

Figura 19

Gráfico de barras: Percepción del costo del peaje de conductores de vehículo ligero

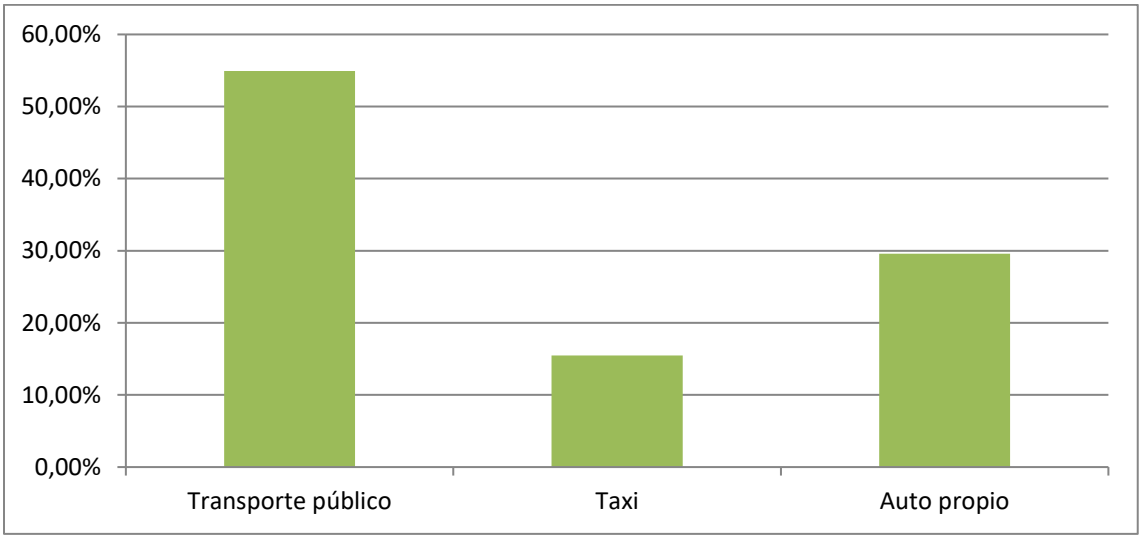


En la figura 19 se observa que un 38.03% percibe un costo muy alto, un 42.25% alto y un 19.72% razonable.

Pregunta 4: Si el peaje aumenta de S/. 6.60 a S/. 9.40 de 7:00 a.m. – 10:00 a.m., estaría dispuesto a ir en:

Figura 20

Gráfico de barras: Vía de transporte de conductores de vehículo ligero en caso aumente el peaje de 7:00a.m.-10:00a.m

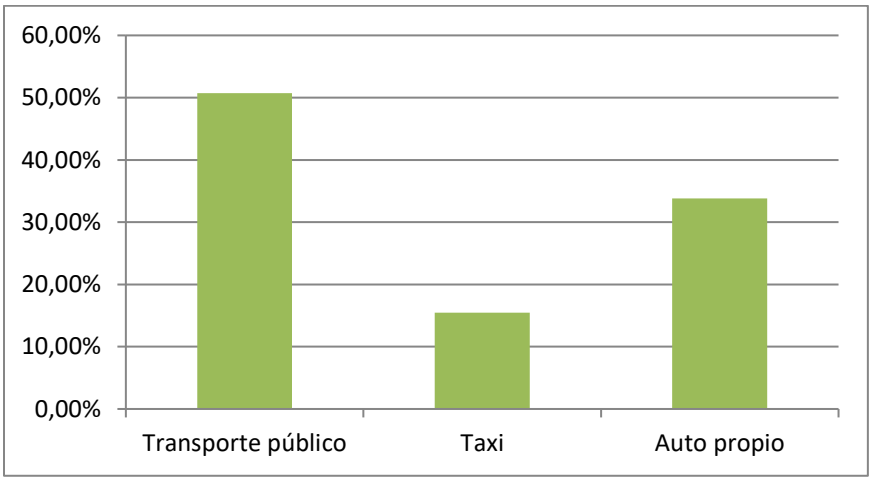


En la figura 20 se observa que un 54.93% viajaría en transporte público, un 15.49% en taxi y un 29.58% en auto propio.

Pregunta 5: Si el peaje aumenta de S/. 6.60 a S/. 9.40 de 5:00 p.m. – 9:00 p.m., estaría dispuesto a ir en:

Figura 21

Gráfico de barras: Vía de transporte de conductores de vehículo ligero en caso aumente el peaje de 5:00p.m.-9:00p.m

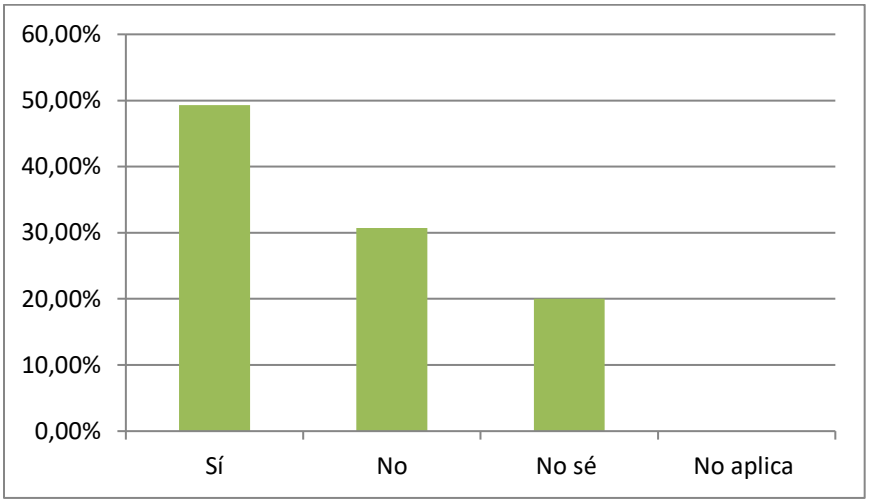


En la figura 21 se observa que un 50.70% viajaría en transporte público, un 15.50% en taxi y un 33.80% en auto propio.

Pregunta 6: Si el peaje disminuye de S/. 6.60 a S/. 1.90 de 11:00 p.m. – 5:00 a.m., ¿estaría dispuesto a cambiar su hora usual de viaje a este periodo?

Figura 22

Gráfico de barras: Aceptación de cambio de hora de viaje de conductores de vehículo ligero en caso disminuya el peaje de 11:00p.m.-5:00a.m

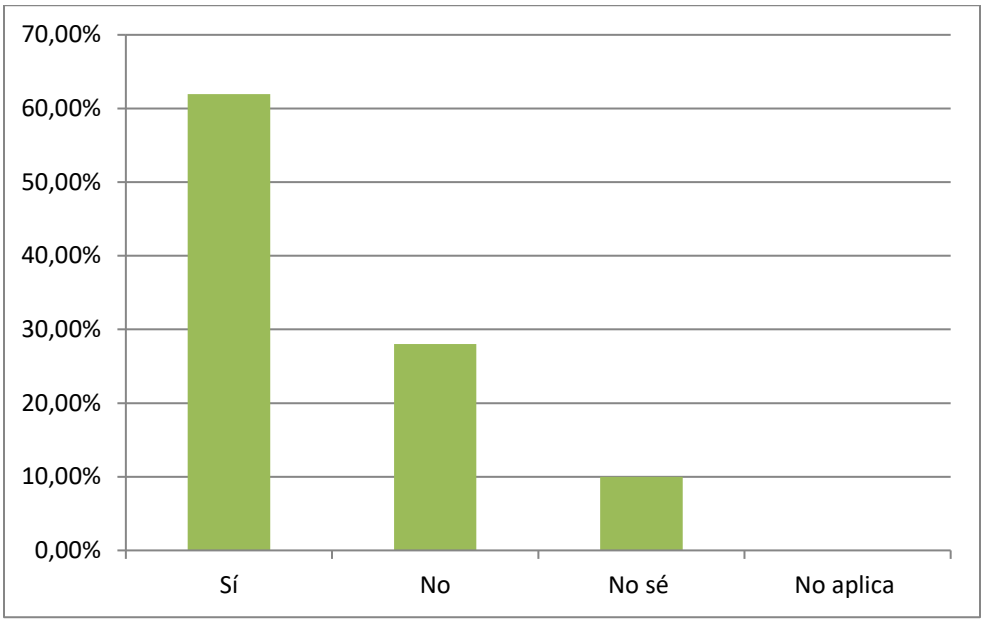


En la figura 22 se observa que un 49.30% cambiaría su hora de viaje si el peaje disminuye, el 30.70% no lo haría y el 20.00% no sabe.

Pregunta 7: Si el peaje disminuye de S/. 6.60 a S/. 1.90 de 12:00 p.m. – 3:00 p.m., ¿estaría dispuesto a cambiar su hora usual de viaje a este periodo?

Figura 23

Gráfico de barras: Aceptación de cambio de hora de viaje de conductores de vehículo ligero en caso disminuya el peaje de 12:00p.m.-3:00p.m

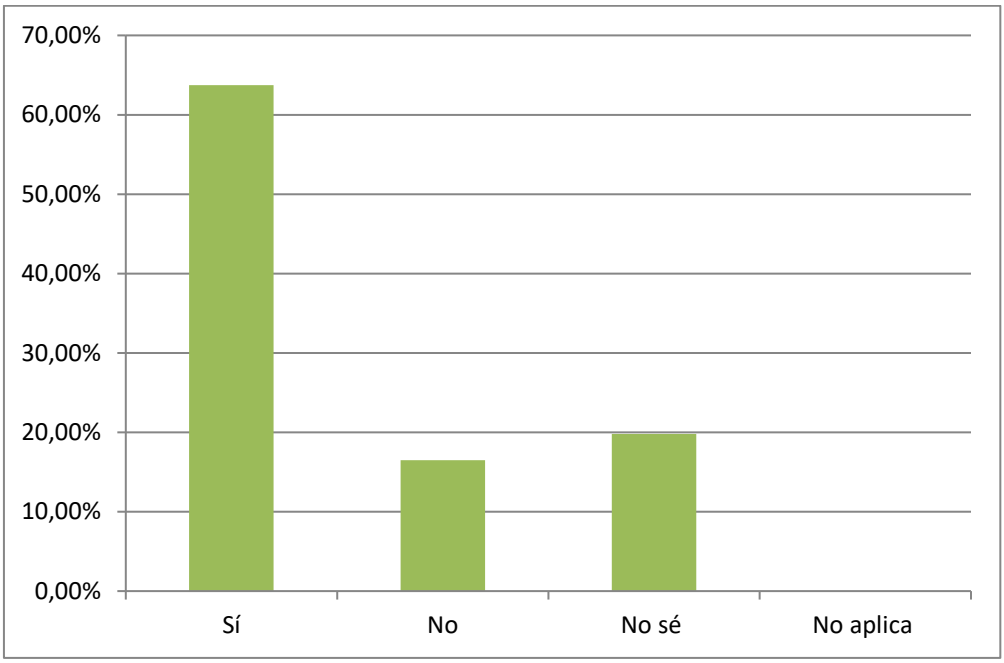


En la figura 23 se observa que un 61.97% cambiaría su hora de viaje si el peaje disminuye, el 28.03% no lo haría y el 10% no sabe.

Pregunta 8: Para evitar pagar el aumento del peaje en las horas pico, ¿transitaría por otra vía?

Figura 24

Gráfico de barras: Cambio de ruta de conductores de vehículo ligero en caso aumente el peaje en horas pico



En la figura 24 se observa que un 63.74% iría por otra vía si el peaje aumenta, el 16.48% no lo haría y el 19.78% no sabe.

9.2. Data y gráficos de encuestas para conductores de vehículos pesados

Se realizaron un total de ocho preguntas a los conductores de vehículos pesados, con ello se generaron gráficos a partir de cada pregunta realizada. Estas son las que se muestran continuación.

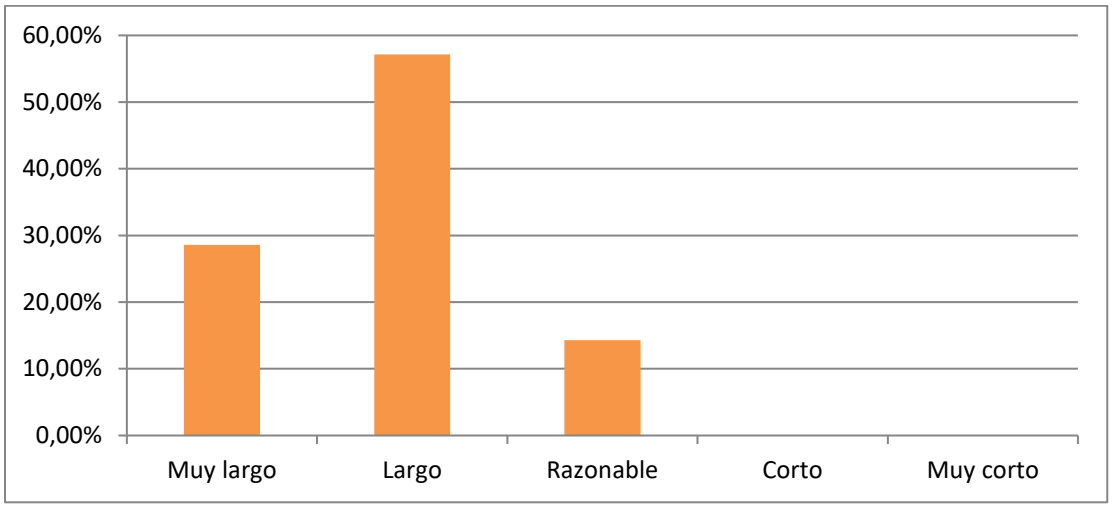
Pregunta 1: Número de ejes del vehículo:

La mayoría contestó que su vehículo tiene 6 ejes.

Pregunta 2: Considera que su tiempo de viaje es:

Figura 25

Gráfico de barras: Percepción del tiempo de viaje por la Vía Evitamiento de conductores de vehículo pesado

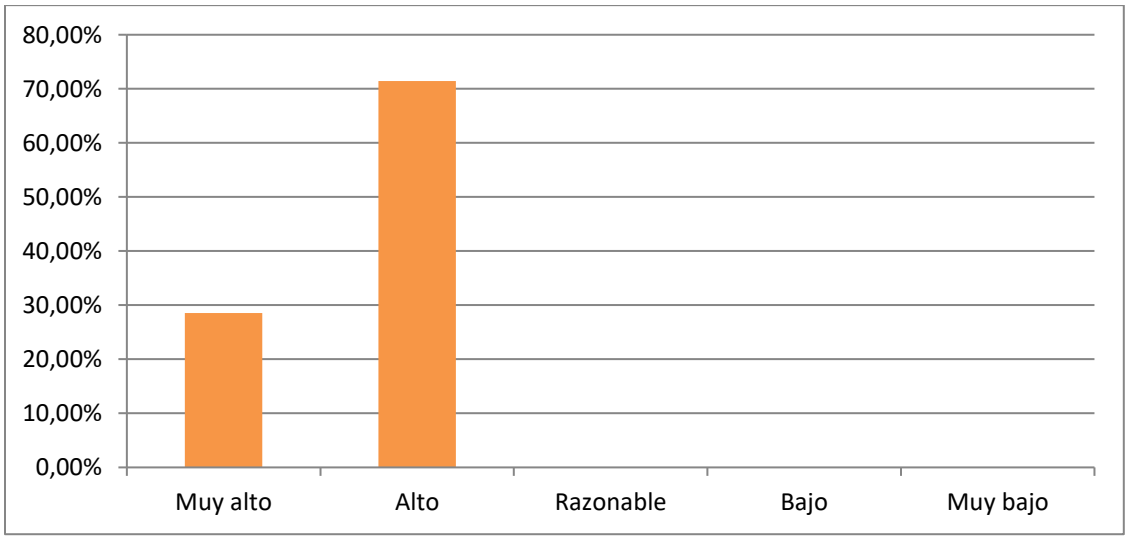


En la figura 25 se observa que un 28.57% percibe un tiempo de viaje muy largo, un 57.14% largo y un 14.29% un viaje razonable.

Pregunta 3: Considera que el costo del peaje es:

Figura 26

Gráfico de barras: Percepción del costo del peaje de conductores de vehículo pesado

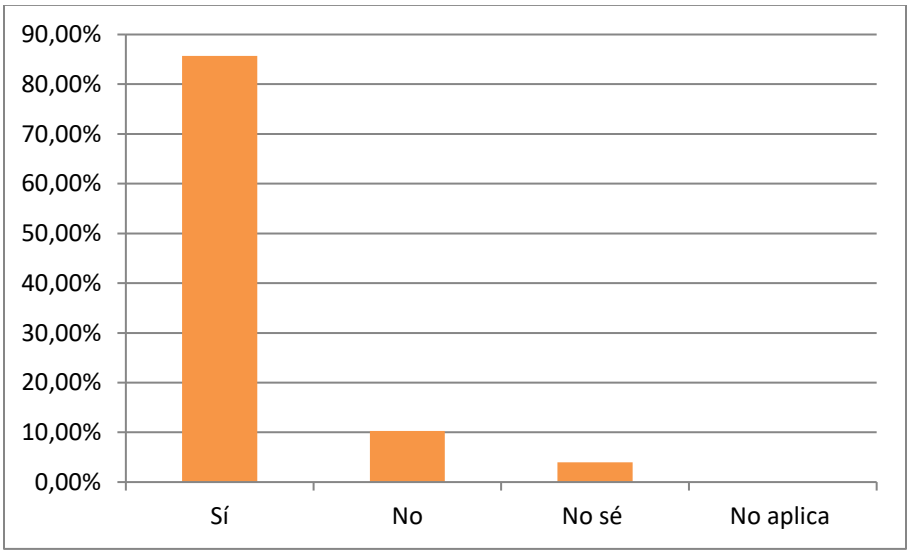


En la figura 26 se observa que un 28.57% percibe un costo muy alto y un 71.43% un costo alto.

Pregunta 4: Si por cada eje el peaje disminuye de S/. 6.60 a S/. 1.90 de 11:00 p.m. – 5:00 a.m., ¿estaría dispuesto a cambiar su hora usual de viaje a este periodo?:

Figura 27

Gráfico de barras: Aceptación de cambio de hora de viaje de conductores de vehículo pesado en caso disminuya el peaje de 11:00p.m.-5:00a.m

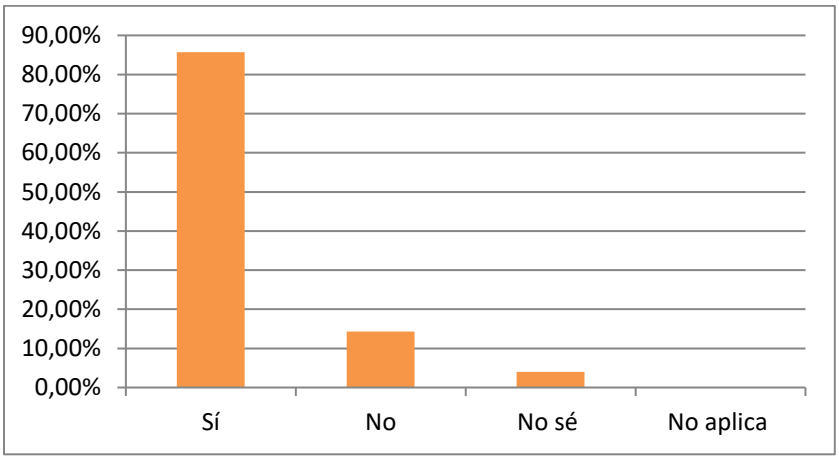


En la figura 27 se observa que un 85.71% cambiaría su hora de viaje si el peaje disminuye, el 10.29% no lo haría y el 4.00% no sabe.

Pregunta 5: Si por cada eje el peaje disminuye de S/. 6.60 a S/. 1.90 de 12:00 p.m. – 3:00 p.m., ¿estaría dispuesto a cambiar su hora usual de viaje a este periodo?:

Figura 28

Gráfico de barras: Aceptación de cambio de hora de viaje de conductores de vehículo pesado en caso disminuya el peaje de 12:00p.m.-3:00p.m

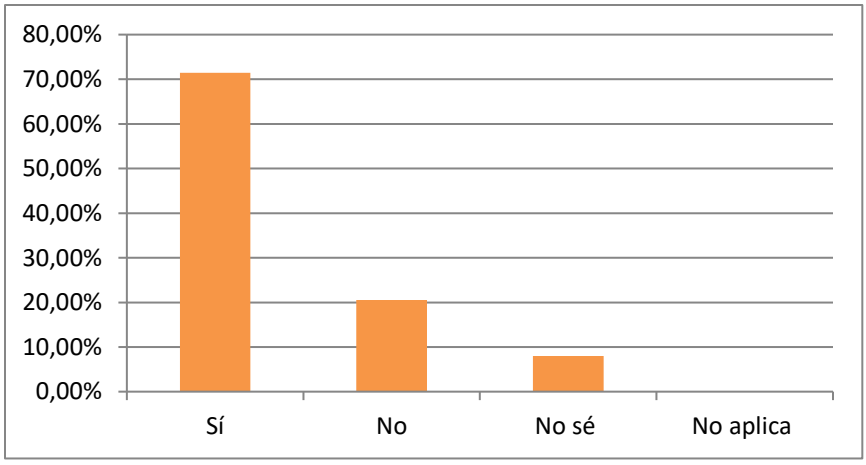


En la figura 28 se observa que un 85.71% cambiaría su hora de viaje si el peaje disminuye, el 10.29% no lo haría y el 4.00% no sabe.

Pregunta 6: Si por cada eje el peaje aumenta de S/. 6.60 a S/. 9.40 de 7:00 a.m. – 10:00 a.m., ¿estaría dispuesto a cambiar su hora usual de viaje?:

Figura 29

Gráfico de barras: Aceptación de cambio de hora de viaje de conductores de vehículo pesado en caso aumente el peaje de 7:00a.m.-10:00a.m

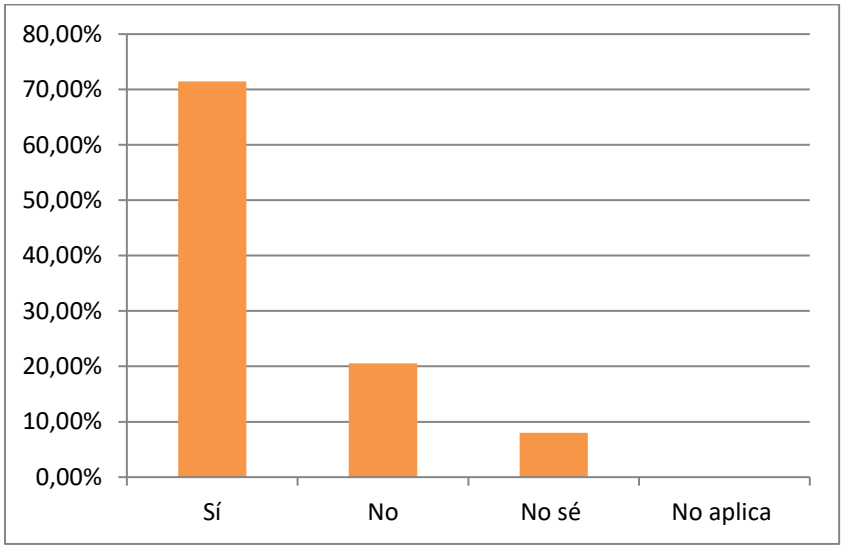


En la figura 29 se observa que un 71.43% cambiaría su hora de viaje usual a fin de evitar pagar el aumento en el peaje, el 20.57% no lo haría y el 8.00% no sabe.

Pregunta 7: Si por cada eje el peaje aumenta de S/. 6.60 a S/. 9.40 de 5:00 p.m. – 9:00 p.m., ¿estaría dispuesto a cambiar su hora usual de viaje?:

Figura 30

Gráfico de barras: Aceptación de cambio de hora de viaje de conductores de vehículo pesado en caso aumente el peaje de 5:00p.m.-9:00a.m

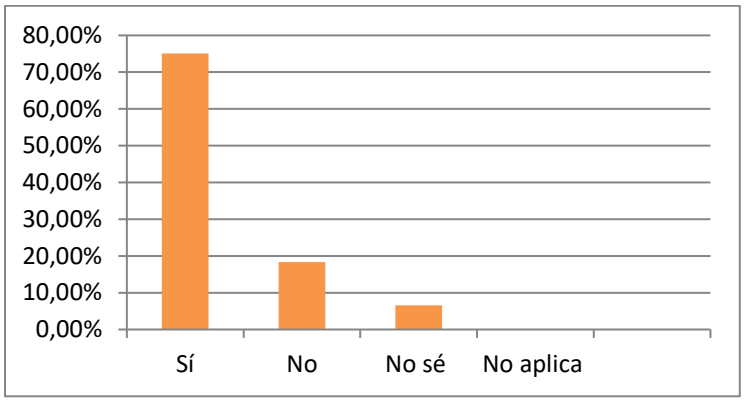


En la figura 30 se observa que un 71.43% cambiaría su hora de viaje usual a fin de evitar pagar el aumento en el peaje, el 20.57% no lo haría y el 8.00% no sabe.

Pregunta 8: Para evitar pagar el aumento del peaje en las horas pico, ¿transitaría por otra vía?:

Figura 31

Gráfico de barras: Cambio de ruta de conductores de vehículo pesado en caso aumente el peaje en horas pico



En la figura 31 se observa que un 75.11% seguiría transitando por la Vía Evitamiento si el peaje aumenta, el 18.31% ya no transitaría por otra vía y el 6.58% no sabe.

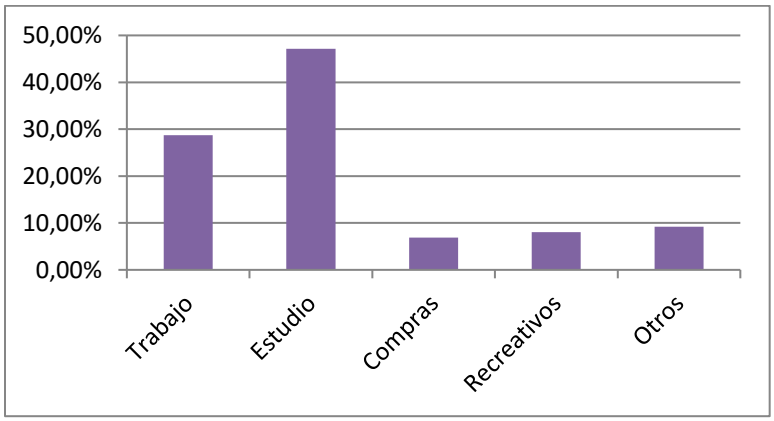
9.3. Data y gráficos de encuestas para pasajeros de transporte público

Se realizaron un total de cinco preguntas a los pasajeros de transporte público, con ello se generaron gráficos a partir de cada pregunta realizada. Estas son las que se muestran continuación.

Pregunta 1: ¿Cuál es su motivo de viaje más frecuente?:

Figura 32

Gráfico de barras: Motivos de viajes más frecuentes de pasajeros de transporte público

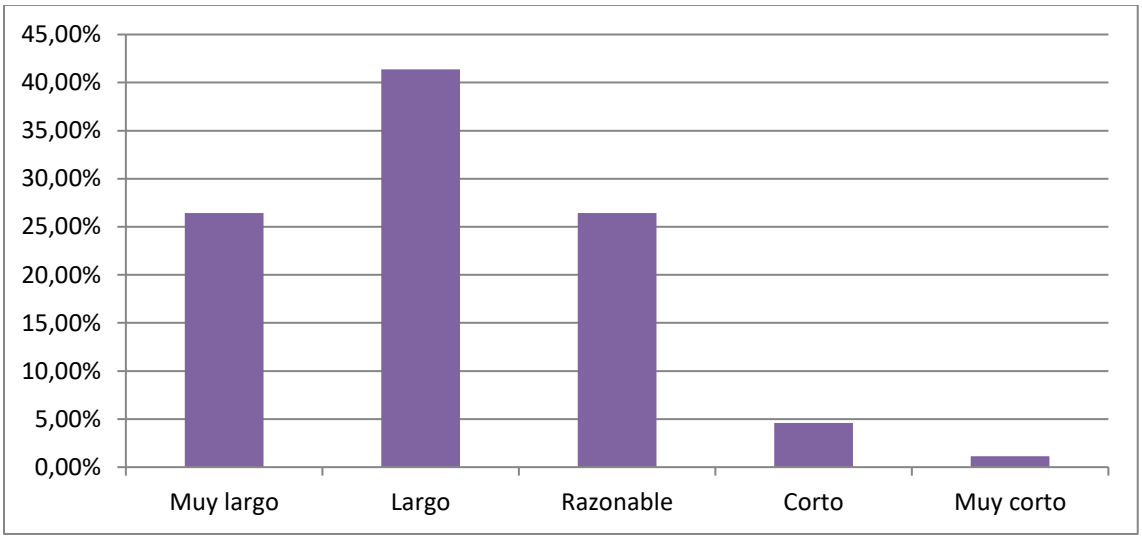


En la figura 32 se observa que un 28.74% viaja por trabajo, un 47.13% viaja por motivo de estudio, un 6.90% por compras, un 8.05% por motivos recreativos y un 9.20% por otras razones.

Pregunta 2: Considera que su tiempo de viaje es:

Figura 33

Gráfico de barras: Percepción del tiempo de viaje por la Vía Evitamiento de pasajeros de transporte público

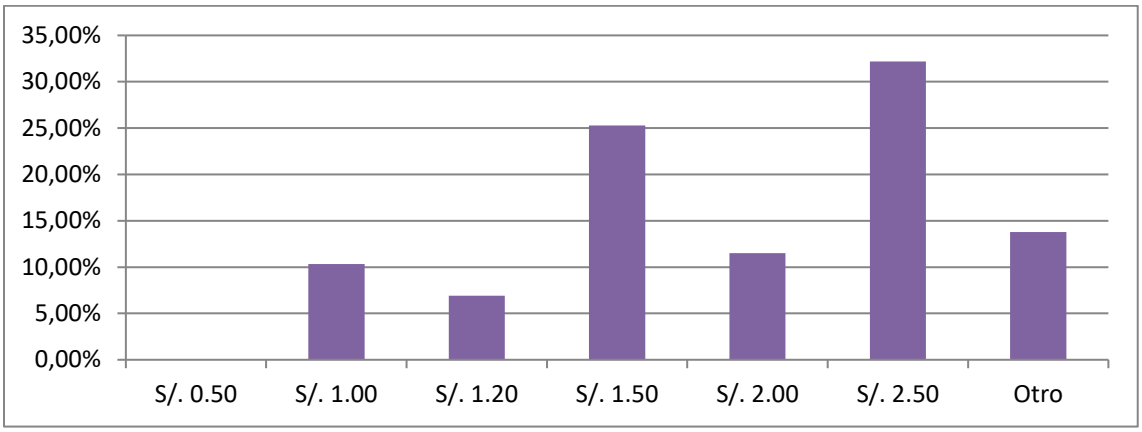


En la figura 33 se observa que un 26.44% percibe un tiempo de viaje muy largo, un 41.38% largo, un 26.44% razonable, un 4.60% corto y un 1.15% muy corto.

Pregunta 3: ¿Cuál es su costo promedio de pasaje cuando viaja por la Vía Evitamiento?:

Figura 34

Gráfico de barras: Costo promedio de pasaje de pasajeros de transporte público cuando viaja por la Vía Evitamiento

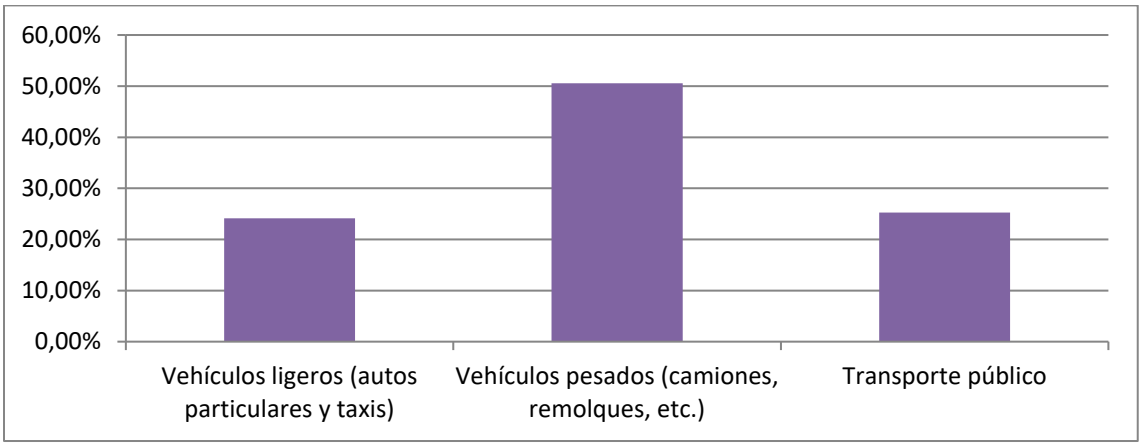


En la figura 34 se observa que un 10.34% paga S/. 1, un 6.90% paga S/. 1.20, un 25.29% paga S/. 1.50, un 11.49% paga S/. 2, un 32.18% paga S/. 2.50 y un 13.79% paga otro precio.

Pregunta 4: ¿Quién cree que es el principal causante del tráfico en la Vía Evitamiento?:

Figura 35

Gráfico de barras: Percepción de pasajeros de transporte público sobre quien es el principal causante de tráfico en la Vía Evitamiento

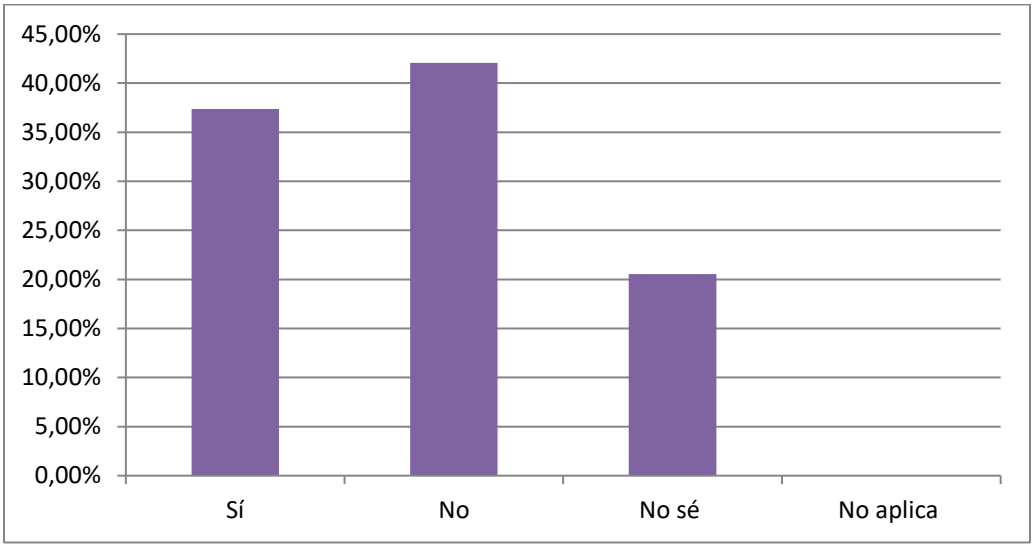


En la figura 35 se observa que un 24.14% cree que el principal causante son los vehículos ligeros, un 50.57% cree que son los vehículos pesados y un 25.29% el transporte público.

Pregunta 5: Con el fin de reducir el tráfico, ¿le parece buena idea que se aumente el costo peaje para autos particulares, taxis y vehículos pesados en las horas pico?:

Figura 36

Gráfico de barras: Aceptación de aumento de pasaje en horas pico para vehículos ligeros y pesados



En la figura 36 se observa que un 37.38% acepta la medida, el 42.06% no la acepta y el 20.56% no sabe.

9.4. Discusión de los resultados

9.4.1. Ligero

La mayoría de los encuestados transitan por la vía por motivos de trabajo, ellos consideran que el tiempo de viaje es largo y el costo del peaje, en caso de transporte público, es elevado.

Cuando hay un incremento del peaje de 6.60 a 9.40 soles en las horas pico, la gran mayoría de encuestados opta por cambiar su modo de transporte a público. Sin embargo, cuando hay

disminución del peaje en la madrugada, los encuestados prefieren no cambiar su hora de viaje y cuando el peaje disminuye de 6.60 a 1.90 soles, en la tarde sí.

Además, los encuestados prefieren en su gran mayoría transitar por otra ruta en lugar de pagar el precio del peaje de hora punta.

9.4.2. Pesado

La mayoría de los encuestados usan vehículos de 6 ejes, estos consideran que su tiempo de viaje es largo y el costo del peaje es elevado. Cuando se les da el incentivo de disminuir el peaje en las madrugadas y tardes, los encuestados casi en su totalidad prefieren cambiar su hora de viaje a estos periodos. Cuando hay aumento de peaje en las horas pico, los encuestados prefieren cambiar su ruta de viaje. En líneas generales, los encuestados tienen una tendencia a evadir cualquier aumento en el costo del peaje.

9.4.3. Público

La mayoría de los encuestados transitan por la vía por motivos de estudios, estos consideran que su tiempo de viaje es alto y en su mayoría pagan un pasaje interurbano, es decir, se desplazan grandes distancias.

Los encuestados concluyeron que el principal causante de tráfico son los pesados. Sin embargo, no están de acuerdo con un incremento del peaje para los conductores de vehículos ligeros y pesados.

10. ESTIMACIÓN DE ELASTICIDADES

En este punto se encuentra la elasticidad (E_t) del precio del peaje de la demanda del tráfico. Esta estimación es importante ya que, se puede determinar cuánto dinero están dispuestos a pagar los usuarios para poder transitar por la Vía Evitamiento, ya sea en horas pico y no pico. Así de esta manera poder establecer nuevos precios para cada escenario propuesto.

El porcentaje de usuarios que viajarían y pagarían el peaje, independientemente de si el peaje aumentara o disminuyera, tanto para vehículos ligeros como pesados, se calculó utilizando los resultados de la encuesta para determinar el número de vehículos tras la implementación de la medida de cobro por congestión.

Se realizan cálculos de elasticidad para dos categorías, el primero para vehículos ligeros en el cual se estima valores de precio para las horas de alto tránsito y las de bajo tránsito; y el segundo para vehículos pesados donde también se estima estos valores. Estos cálculos se muestran a continuación:

10.1. Elasticidades en vehículos ligeros de Sur a Norte

10.1.1. Elasticidad en Hora Pico

- **Turno mañana**

Para las horas de alto tránsito se determinó que el valor de la tarifa de peaje nueva es de 9.40 soles, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles. El volumen de tráfico inicial se determinó mediante los conteos en el cual se tomó como base el día martes, este valor fue de 10944 vehículos. Los valores del volumen de tráfico nuevo se determinaron según el porcentaje de personas que prefieren pagar por el peaje en hora pico según las encuestas realizadas, la cual fue un 18.31%. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(10944 - 2004)/10944}{(6.60 - 9.4)/6.60} = 1.93$$

Los usuarios de vehículos ligeros son sensibles a las variaciones de precios, como indica esta cifra, que muestra que la elasticidad precio de la demanda es elástica. Como resultado, hay una diferencia porcentual del 1.93 en la cantidad necesaria.

- **Turno Tarde-Noche**

El volumen de tráfico inicial determinado mediante los conteos fue de 17816 vehículos. Los valores del volumen de tráfico nuevo se determinaron según el porcentaje de personas que prefieren pagar por el peaje en hora pico según las encuestas realizadas, la cual fue un 18.31%. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(17816 - 3262)/17816}{(6.60 - 9.4)/6.60} = 1.93$$

Esta cifra indica que la elasticidad precio de la demanda es elástica, lo que significa que los clientes de vehículos ligeros son sensibles al costo a medida que los precios aumentan. Así, en términos porcentuales, hay una variación del 1.93 en la cantidad solicitada.

10.1.2. Elasticidad en Hora No Pico

- **Turno Tarde**

Para las horas de bajo tránsito en este turno se determinó un peaje de 1.90 soles, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles. El volumen de tráfico inicial se determinó mediante los conteos en el cual se tomó como base el día martes, este valor fue de 11772 vehículos. El valor del volumen de tráfico nuevo se determinó según los datos obtenidos en las encuestas el cual fue un aumento del 61.97%

del volumen inicial. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(11772 - 19067)/11772}{(6.60 - 1.9)/6.60} = 0.87$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es inelástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros no son sensibles a esta variación de precio. Por lo tanto, la cantidad demandada varía en 0.87 en términos porcentuales.

- **Turno Noche**

Para las horas de bajo tránsito en este turno se determinó un peaje de 1.90 soles, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles. El volumen de tráfico inicial se determinó mediante los conteos en el cual se tomó como base el día martes, este valor fue de 2284 vehículos. El valor del volumen de tráfico nuevo se determinó según los datos obtenidos en las encuestas el cual fue un aumento del 49.3% del volumen inicial. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(2284 - 3410)/2284}{(6.60 - 1.9)/6.60} = 0.69$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es inelástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros no son sensibles a esta variación de precio. Por lo tanto, la cantidad demandada varía en 0.69 en términos porcentuales.

10.2. Elasticidades en vehículos pesados de Sur a Norte

10.2.1. Elasticidad en Hora Pico

- **Turno mañana**

Para las horas de alto tránsito en este turno se determinó que el valor de la tarifa de peaje nueva es de 9.40 soles por eje, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles por eje. El volumen de tráfico inicial se determinó mediante los conteos en el cual se determinó con día base el martes, este valor fue de 4312 vehículos. El valor del volumen de tráfico nuevo se determinó mediante los datos obtenidos en las encuestas el cual fue de 71.43%. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(4312 - 3080)/4312}{(6.60 - 9.4)/6.60} = 0.67$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es inelástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros no son sensibles a esta variación de precio. Por lo tanto, la cantidad demandada varía en 0.67 en términos porcentuales.

- **Turno tarde-noche**

Para las horas de alto tránsito en este turno se determinó que el valor de la tarifa de peaje nueva es de 9.40 soles por eje, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles por eje. El volumen de tráfico inicial se determinó mediante los conteos en el cual se determinó con día base el martes, este valor fue de 6528 vehículos. El valor del volumen de tráfico nuevo se determinó mediante los datos obtenidos en las encuestas el cual fue de 71.43%. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(6528 - 4663)/6528}{(6.60 - 9.4)/6.60} = 0.67$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es inelástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros no son sensibles a esta variación de precio. Por lo tanto, la cantidad demandada varía en 0.67 en términos porcentuales.

10.2.2. Elasticidad en Hora No Pico

- **Turno tarde**

Para las horas de bajo tránsito se determinó un peaje de 1.90 soles, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles. El volumen de tráfico inicial se determinó como base el día martes, este valor fue de 6268 vehículos. El valor del volumen de tráfico nuevo se determinó mediante los datos de las encuestas, el cual fue de un aumento del 85.71%. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(6268 - 11640)/6268}{(6.60 - 1.9)/6.60} = 2.02$$

Este valor implica que la elasticidad del precio en respuesta a la demanda es elástica, lo que implica que, ante un incremento en el precio, los consumidores de vehículos de bajo consumo son sensibles a dicha fluctuación. Así pues, la demanda disminuye al 2.02 en términos porcentuales.

- **Turno noche**

Para las horas de bajo tránsito se determinó un peaje de 1.90 soles, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles. El volumen de tráfico inicial se determinó como base el día martes, este valor fue de 2412 vehículos. El valor del volumen de tráfico nuevo se determinó mediante los datos de las encuestas, el cual fue de un aumento del 85.71%. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(2412 - 4479)/2412}{(6.60 - 1.9)/6.60} = 1.20$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es elástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros son sensibles a esta variación de precio. Así pues, la demanda disminuye al 1.20 en términos porcentuales.

10.3. Elasticidades en vehículos Ligeros de Norte a Sur

10.3.1. Elasticidad en Hora Pico

- **Turno mañana**

Para las horas de alto tránsito se determinó que el valor de la tarifa de peaje nueva es de 9.40 soles, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles. El volumen de tráfico inicial se determinó mediante los conteos en el cual se tomó como base el día martes, este valor fue de 14740 vehículos. Los valores del volumen de tráfico nuevo se determinaron según el porcentaje de personas que prefieren pagar por el peaje en hora pico según las encuestas realizadas, la cual fue un 18.31%. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(14740 - 2699)/14740}{(6.60 - 9.4)/6.60} = 1.93$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es elástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros son sensibles a esta variación de precio. Así pues, la demanda disminuye al 1.93 en términos porcentuales.

- **Turno Tarde-Noche**

El volumen de tráfico inicial determinado mediante los conteos fue de 13444 vehículos. Los valores del volumen de tráfico nuevo se determinaron según el porcentaje de personas que

prefieren pagar por el peaje en hora pico según las encuestas realizadas, la cual fue un 18.31%. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(13444 - 2462)/13444}{(6.60 - 9.4)/6.60} = 1.93$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es elástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros son sensibles a esta variación de precio. Por lo tanto, la cantidad demandada varía al 1.93 en términos porcentuales.

10.3.2. Elasticidad en Hora No Pico

- **Turno Tarde**

Para las horas de bajo tránsito en este turno se determinó un peaje de 1.9 soles, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles. El volumen de tráfico inicial se determinó mediante los conteos en el cual se tomó como base el día martes, este valor fue de 10080 vehículos. El valor del volumen de tráfico nuevo se determinó según los datos obtenidos en las encuestas el cual fue un aumento del 61.97% del volumen inicial. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(10080 - 16327)/10080}{(6.60 - 1.9)/6.60} = 0.87$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es inelástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros no son sensibles a esta variación de precio. Por lo tanto, la cantidad demandada varía en 0.87 en términos porcentuales.

- **Turno Noche**

Para las horas de bajo tránsito en este turno se determinó un peaje de 1.90 soles, y la tarifa de peaje inicial es de 6.600 soles. El volumen de tráfico inicial se determinó mediante los conteos en el cual se tomó como base el día martes, este valor fue de 3272 vehículos. El valor del volumen de tráfico nuevo se determinó según los datos obtenidos en las encuestas el cual fue un aumento del 49.3% del volumen inicial. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(3272 - 2462)/3272}{(6.60 - 1.9)/6.60} = 0.35$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es inelástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros no son sensibles a esta variación de precio. Por lo tanto, la cantidad demandada varía en 0.35 en términos porcentuales.

10.4. Elasticidades en vehículos Pesados de Norte a Sur

10.4.1. Elasticidad en Hora Pico

- **Turno mañana**

Para las horas de alto tránsito en este turno se determinó que el valor de la tarifa de peaje nueva es de 9.40 soles por eje, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles por eje. El volumen de tráfico inicial se determinó mediante los conteos en el cual se determinó con día base el martes, este valor fue de 5808 vehículos. El valor del volumen de tráfico nuevo se determinó mediante los datos obtenidos en las encuestas el cual fue de 71.43%. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(5808 - 4149)/5808}{(6.60 - 9.4)/6.60} = 0.67$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es inelástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros no son sensibles a esta variación de precio. Por lo tanto, la cantidad demandada varía en 0.67 en términos porcentuales.

- **Turno tarde-noche**

Para las horas de alto tránsito en este turno se determinó que el valor de la tarifa de peaje nueva es de 9.40 soles por eje, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles por eje. El volumen de tráfico inicial se determinó mediante los conteos en el cual se determinó con día base el martes, este valor fue de 4272 vehículos. El valor del volumen de tráfico nuevo se determinó mediante los datos obtenidos en las encuestas el cual fue de 71.43%. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(4272 - 3051)/4272}{(6.60 - 9.4)/6.60} = 0.67$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es inelástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros no son sensibles a esta variación de precio. Por lo tanto, la cantidad demandada varía en 0.67 en términos porcentuales.

10.4.2. Elasticidad en Hora No Pico

- **Turno tarde**

Para las horas de bajo tránsito se determinó un peaje de 1.90 soles, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles. El volumen de tráfico inicial se determinó como base el día martes, este valor fue de 5476 vehículos. El valor del volumen de tráfico nuevo se determinó mediante los datos de las encuestas, el cual fue de un aumento del 85.71%. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

$$E_t = \frac{(5476 - 10169)/5476}{(6.60 - 1.9)/6.60} = 1.20$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es elástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros son sensibles a esta variación de precio. Por lo tanto, la cantidad demandada varía al 1.20 en términos porcentuales.

- **Turno noche**

Para las horas de bajo tránsito se determinó un peaje de 1.90 soles, y la tarifa de peaje inicial es de 6.60 soles. El volumen de tráfico inicial se determinó como base el día martes, este valor fue de 1680 vehículos. El valor del volumen de tráfico nuevo se determinó mediante los datos de las encuestas, el cual fue de un aumento del 85.71%. Con los datos determinados se reemplaza en la ecuación 3, teniendo el siguiente valor de E_t.

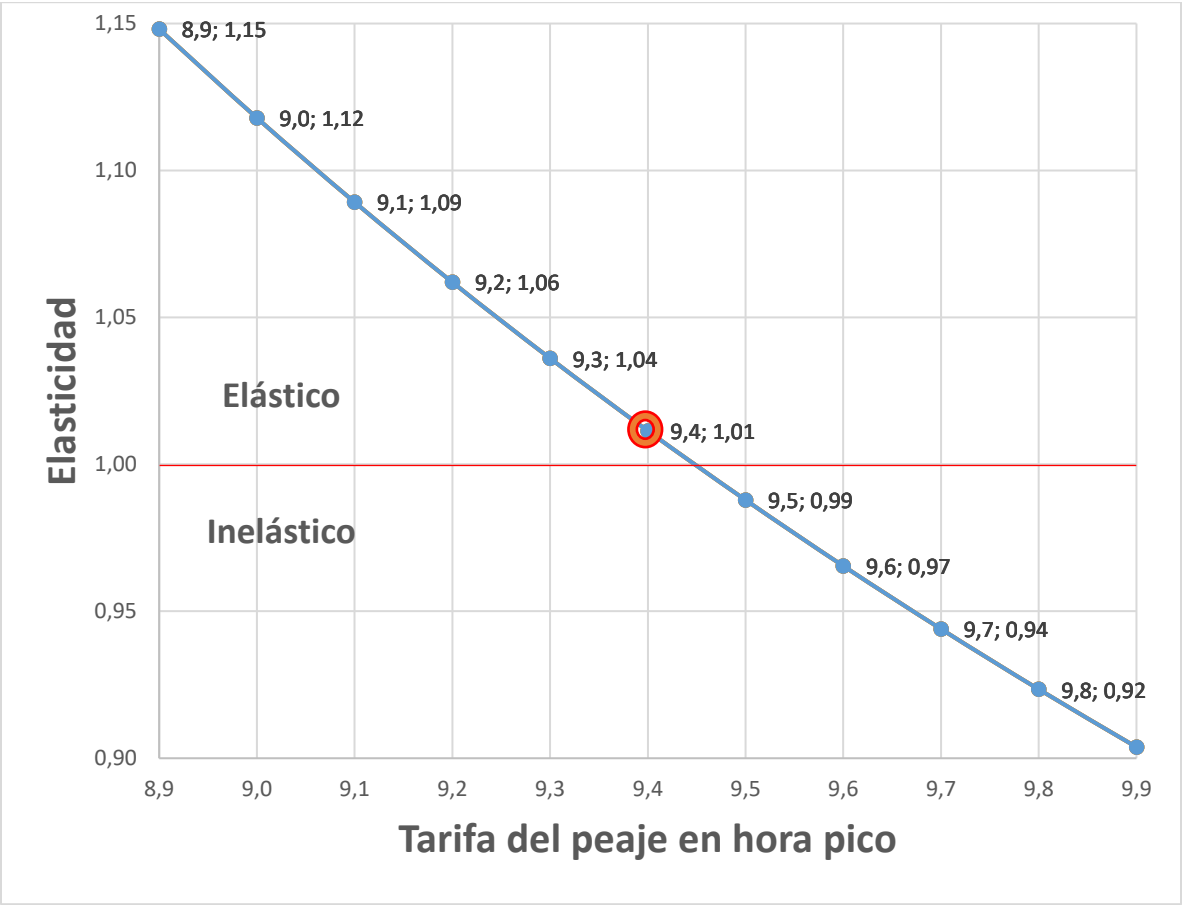
$$E_t = \frac{(1680 - 3120)/1680}{(6.60 - 1.9)/6.60} = 1.20$$

Este valor significa que la elasticidad del precio de la demanda es elástica, quiere decir que, frente a un aumento del precio, los usuarios de vehículos ligeros son sensibles a esta variación de precio. Por lo tanto, la cantidad demandada varía al 1.20 en términos porcentuales.

Mediante la figura 37 se determinó los precios máximos que los usuarios podrían pagar en hora pico en función a la elasticidad, ya que en este caso la elasticidad debe ser elástica o sea mayor a 1, el valor que se obtiene al aumentar la tarifa de 6.60 a 9.40 es de 1.01. Esto quiere decir que 9.40 es el máximo valor que los usuarios estarían dispuestos a pagar y que al mismo tiempo genere un cambio significativo en la cantidad de la demanda.

Figura 37

Tarifa del peaje en hora pico vs Elasticidad



También se desarrolló la figura 38 de la misma manera para poder obtener el máximo valor que se puede reducir el peaje en horas no pico, de tal manera que el precio de la demanda sea inelástico, o sea menor a 1. Esto debido a que en las horas no pico se requiere que se mantenga el bajo flujo vehicular pero como incentivo para los usuarios que transitan la vía en horas pico la tarifa se reduce, aumentando así de manera poco significativa la cantidad de vehículos que pasarían por la vía. Por lo tanto, en la figura 34 se muestra que el peaje podría recudirse hasta 1.90 soles en horas no pico.

Figura 38

Tarifa del peaje en hora no pico vs Elasticidad

11. CÁLCULO DE NIVEL DE SERVICIO CON TARIFA DE PEAJE VARIABLE

Con los resultados obtenidos en la encuesta se puede observar una tendencia del usuario a transitar o no por la vía, según los porcentajes obtenidos se reducen o incrementan los volúmenes de vehículos para cada caso como se muestran en la tabla 30 y 31.

Tabla 30

Porcentaje transitado según las encuestas de vehículos ligeros para nuevo nivel de servicio.

		Ligero	Público
07:00:00	**10:00**	-64%	+3%
12:00:00	**15:00:00**	+15%	
17:00:00	**21:00:00**	-63%	+3%
23:00:00	**05:00:00**	+12%	

Tabla 31

Porcentaje transitado según las encuestas de vehículos pesados para nuevo nivel de servicio.

		Pesado
07:00:00	**10:00**	-77%
12:00:00	**15:00:00**	+21%
17:00:00	**21:00:00**	-77%
23:00:00	**05:00:00**	+21%

Teniendo en cuenta las fórmulas y el procedimiento descrito en el capítulo 5, a continuación, se muestra las tablas con los datos que se usaron para estimar el nivel de servicio esperando en caso se aplicara la tarificación vial en Vía Evitamiento. Las tablas 32 y 33 muestran los volúmenes en horas pico tanto en el sentido sur – norte como viceversa.

Tabla 32

Volúmenes de las horas pico en el sentido Sur – Norte.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	3295	4070	2128
Martes	3758	4788	2460
Miércoles	2898	2859	1836
Jueves	2251	2720	2220
Viernes	3283	3386	2040
Sábado	3236	3900	2216
Domingo	3112	3894	2460

Tabla 33

Volúmenes de las horas pico en el sentido Norte – Sur.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	4376	3730	2132
Martes	4532	3919	3860
Miércoles	4221	3762	4706
Jueves	3429	4034	3896
Viernes	4530	3985	3784
Sábado	5445	4348	3132
Domingo	4341	4043	4248

Luego, se ubica el cuarto de hora exacto de la hora pico, se muestra en la tabla 34 y 35.

Tabla 34

Horas pico en el sentido Sur – Norte

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	11:45:00 a.m.	04:45:00 p.m.	10:00:00 p.m.
Martes	11:45:00 a.m.	04:00:00 p.m.	10:00:00 p.m.
Miércoles	11:15:00 a.m.	04:00:00 p.m.	10:15:00 p.m.
Jueves	11:15:00 a.m.	04:45:00 p.m.	10:00:00 p.m.
Viernes	11:45:00 a.m.	12:00:00 p.m.	10:00:00 p.m.
Sábado	11:45:00 a.m.	04:00:00 p.m.	10:00:00 p.m.

Domingo	11:45:00 a.m.	04:45:00 p.m.	10:00:00 p.m.
PROMEDIO	**11:36:26 a.m.**	**03:45:00 p.m.**	**10:02:09 p.m.**

Tabla 35

Horas pico en el sentido Norte – Sur

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	11:00:00 a.m.	12:00:00 p.m.	10:00:00 p.m.
Martes	11:00:00 a.m.	12:00:00 p.m.	10:00:00 p.m.
Miércoles	11:45:00 a.m.	04:15:00 p.m.	11:30:00 p.m.
Jueves	11:00:00 a.m.	04:00:00 p.m.	10:00:00 p.m.
Viernes	11:45:00 a.m.	12:00:00 p.m.	10:00:00 p.m.
Sábado	11:00:00 a.m.	12:00:00 p.m.	10:00:00 p.m.
Domingo	11:30:00 a.m.	04:30:00 p.m.	10:00:00 p.m.
PROMEDIO	**11:17:09 a.m.**	**01:49:17 p.m.**	**10:12:51 p.m.**

Después, se determina el volumen máximo de vehículos por 15 minutos en la hora pico como se muestran en las tablas 36 y 37. Estos datos son necesarios para calcular el factor hora pico (FHP).

Tabla 36

Volumen máximo de los 15 minutos en la hora pico en el sentido Sur – Norte.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	885	1083	592
Martes	992	1267	652
Miércoles	782	771	580
Jueves	626	841	684
Viernes	1155	1155	676
Sábado	858	1102	644
Domingo	830	1056	1044

Tabla 37

Volumen máximo de los 15 minutos en la hora pico en el sentido Norte – Sur.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	1164	1052	556
Martes	1396	1358	1108
Miércoles	1330	993	1750
Jueves	928	1080	1184
Viernes	1280	1253	1476
Sábado	1891	1288	896
Domingo	1208	1174	1516

Con los valores anteriormente calculados se procede a determinar el factor de hora pico (FHP), como lo muestran las tablas 38 y 39.

Tabla 38

Factor de la hora pico en el sentido Sur – Norte.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	0.93	0.94	0.90
Martes	0.95	0.94	0.94
Miércoles	0.93	0.93	0.79
Jueves	0.90	0.81	0.81
Viernes	0.71	0.73	0.75
Sábado	0.94	0.88	0.86
Domingo	0.94	0.92	0.59

Tabla 39

Factor de la hora pico en el sentido Norte – Sur

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	0.94	0.89	0.96
Martes	0.81	0.72	0.87
Miércoles	0.79	0.95	0.67
Jueves	0.92	0.93	0.82

Viernes	0.88	0.79	0.64
Sábado	0.72	0.84	0.87
Domingo	0.90	0.86	0.70

Con el equivalente de autos para camiones y buses (E_t) establecido en el capítulo 5 se calculan los valores de factor de ajuste por vehículos pesados en ambos sentidos como se muestran en las tablas 40 y 41.

Tabla 40

Factor de ajuste por vehículos pesados en el sentido Sur – Norte

Día	Factor de ajuste por vehículo pesado
Lunes	0.93
Martes	0.85
Miércoles	0.87
Jueves	0.88
Viernes	0.85
Sábado	0.86
Domingo	0.86

Tabla 41

Factor de ajuste por vehículos pesados en el sentido Norte – Sur

Día	Factor de ajuste por vehículo pesado
Lunes	0.93
Martes	0.87
Miércoles	0.90
Jueves	0.87
Viernes	0.89
Sábado	0.88
Domingo	0.88

Luego, se procede a determinar la tasa de flujo (Vp) para ambas direcciones con la ecuación 7 descrita en el capítulo 5.

Las tablas 42 y 43 muestran los valores de V_p de toda la semana en los dos sentidos.

Tabla 42

Tasa de flujo en el sentido Sur – Norte

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	1007	1232	674
Martes	1230	1570	808
Miércoles	945	931	701
Jueves	748	1004	817
Viernes	1437	1437	841
Sábado	1047	1345	786
Domingo	1013	1289	1274

Tabla 43

Tasa de flujo en el sentido Norte – Sur

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	1313	1188	627
Martes	1693	1647	1345
Miércoles	1554	1161	2045
Jueves	1117	1299	1425
Viernes	1519	1486	1751
Sábado	2262	1541	1072
Domingo	1443	1403	1810

Con los mismos procedimientos anteriormente descritos en el capítulo 5 se estiman las velocidades promedio de viaje en los dos sentidos como se muestran en las tablas 44 y 45.

Tabla 44

Velocidad promedio de viaje el sentido Sur – Norte

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	80	80	80
Martes	80	79	80
Miércoles	80	80	80
Jueves	80	80	80
Viernes	80	80	80
Sábado	80	80	80
Domingo	80	80	80

Tabla 45

Velocidad promedio de viaje el sentido Norte – Sur

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	80	80	80
Martes	78	79	80
Miércoles	79	80	75
Jueves	80	80	80
Viernes	80	80	77
Sábado	72	80	80
Domingo	80	80	77

Para calcular la densidad del flujo (D) para ambos sentidos, se utilizó la ecuación 4. Las tablas 46 y 47 muestran las densidades de toda la semana para la mañana, tarde y noche de cada día.

Tabla 46

Densidad de flujo en el sentido Sur – Norte

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	13	15	8
Martes	15	20	10
Miércoles	12	12	9
Jueves	9	13	10

Viernes	18	18	11
Sábado	13	17	10
Domingo	13	16	16

Tabla 47

Densidad de flujo en el sentido Norte – Sur

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	16	15	8
Martes	22	21	17
Miércoles	20	15	27
Jueves	14	16	18
Viernes	19	19	23
Sábado	31	19	13
Domingo	18	18	24

Por último, utilizando el criterio de la densidad, se determina el Nivel de Servicio en ambos sentidos para los horarios de mañana, tarde y noche de toda la semana.

A continuación, se muestran los niveles de servicios encontrados en las tablas 48 y 49.

Tabla 48

Nivel de Servicio en el sentido Sur – Norte

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	C	C	B
Martes	C	D	B
Miércoles	C	C	B
Jueves	B	C	B
Viernes	D	D	B
Sábado	C	D	B
Domingo	C	D	C

Tabla 49

Nivel de Servicio en el sentido Norte – Sur

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	D	C	B
Martes	D	D	D
Miércoles	D	C	E
Jueves	C	D	D
Viernes	D	D	E
Sábado	E	D	C
Domingo	D	D	E

Como se puede apreciar se ve una disminución significativa del nivel de servicio ante la aplicación del costo por congestión.

En las tablas 50 y 51 se puede apreciar la comparación entre los niveles de servicios actuales vs los niveles de servicios con la tarificación vial.

Tabla 50

Nivel de Servicio Actuales vs Nivel de Servicio con Tarificación Vial, sentido Sur – Norte

	Nivel de Servicio Actual			Nivel de Servicio con Tarificación Vial		
Día	**Mañana**	**Tarde**	**Noche**	**Mañana**	**Tarde**	**Noche**
Lunes	D	E	E	C	C	B
Martes	E	E	E	C	D	B
Miércoles	D	D	E	C	C	B
Jueves	C	E	E	B	C	B
Viernes	E	E	E	D	D	B
Sábado	D	E	E	C	D	B
Domingo	E	E	E	C	D	C

Tabla 51

Nivel de Servicio Actuales vs Nivel de Servicio con Tarificación Vial, sentido Norte – Sur

	Nivel de Servicio Actual			Nivel de Servicio con Tarificación Vial		
Día	**Mañana**	**Tarde**	**Noche**	**Mañana**	**Tarde**	**Noche**
Lunes	E	D	C	D	C	B
Martes	E	E	E	D	D	D
Miércoles	E	E	E	D	C	E
Jueves	E	E	D	C	D	D
Viernes	E	E	D	D	D	E
Sábado	E	E	D	E	D	C
Domingo	E	E	E	D	D	E

12. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos en nuestra investigación. Estos resultados muestran las variaciones positivas que darían como resultados la implementación de la tarificación vial en la Vía Evitamiento.

12.1. Nivel de Servicio Actual

Las tablas 52 y 53 muestran los niveles de servicios obtenidos gracias al conteo vehicular, se distribuyen en 3 horarios: mañana, tarde y noche. Se concluye que los niveles de servicio actuales son de categoría E en su gran mayoría, esto quiere decir que el funcionamiento de la vía en hora pico está totalmente al límite, no existe libertad de maniobra y genera enorme reducción en la velocidad de viaje. Con estos valores se demuestra que es imprescindible establecer una nueva medida política para disminuir el nivel de servicio actual a uno menor. Se aprecia que en el sentido Norte – Sur la congestión es aún mayor que en el sentido contrario.

Tabla 52

Nivel de Servicio en el sentido Sur – Norte.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	D	E	E
Martes	E	E	E
Miércoles	D	D	E
Jueves	C	E	E
Viernes	E	E	E
Sábado	D	E	E
Domingo	E	E	E

Tabla 53

Nivel de Servicio en el sentido Norte – Sur.

Día	Mañana	Tarde	Noche
Lunes	E	D	C
Martes	E	E	E
Miércoles	E	E	E
Jueves	E	E	D
Viernes	E	E	D
Sábado	E	E	D
Domingo	E	E	E

12.2. Elasticidad de la demanda

Se obtuvieron las elasticidades en horas pico y no pico tanto para automóviles livianos como para vehículos de carga pesada para ambos sentidos, seguidamente, se indica una tabla 54 donde se resumen los cálculos.

Tabla 54

Resumen de las elasticidades calculadas.

	HORA PICO		HORA NO PICO	
Categoría	**MAÑANA**	**TARDE-NOCHE**	**TARDE**	**NOCHE**
Ligero	1.01	1.01	0.98	0.78
Pesado	0.35	0.35	1.35	1.35

12.3. Nivel de Servicio con Tarificación Vial

Estos nuevos niveles de servicio fueron calculados tomando en cuenta las respuestas de las encuestas. Cada una de las preguntas de las encuestas fue tomada en cuenta para obtener un porcentaje de reducción o de aumento del flujo vehicular. Este porcentaje se muestran en las Tablas 30 y 31. Se aprecia que en la hora pico el porcentaje que transita se reduce en más de un tercio. El

efecto colateral es que en las horas no pico aumente en alrededor de 15%, el cual, al tratarse de horas con poca congestión es un valor poco significante. Además, el porcentaje de uso de vehículos públicos aumenta al alrededor del 3%.

Con esta nueva variación de los vehículos ligeros, pesados y públicos, se pudo calcular el valor de los nuevos niveles de servicio con tarificación vial vs los actuales para cada sentido que se muestran las Tablas 55 y 56.

Tabla 55

Nivel de Servicio Actuales vs Nivel de Servicio con Tarificación Vial, sentido Sur – Norte

	Nivel de Servicio Actual			**Nivel de Servicio con Tarificación Vial**		
Día	**Mañana**	**Tarde**	**Noche**	**Mañana**	**Tarde**	**Noche**
Lunes	D	E	E	C	C	B
Martes	E	E	E	C	D	B
Miércoles	D	D	E	C	C	B
Jueves	C	E	E	B	C	B
Viernes	E	E	E	D	D	B
Sábado	D	E	E	C	D	B
Domingo	E	E	E	C	D	C

Tabla 56

Nivel de Servicio Actuales vs Nivel de Servicio con Tarificación Vial, sentido Norte – Sur

	Nivel de Servicio Actual			**Nivel de Servicio con Tarificación Vial**		
Día	**Mañana**	**Tarde**	**Noche**	**Mañana**	**Tarde**	**Noche**
Lunes	E	D	C	D	C	B
Martes	E	E	E	D	D	D
Miércoles	E	E	E	D	C	E
Jueves	E	E	D	C	D	D
Viernes	E	E	D	D	D	E

Sábado	E	E	D	E	D	C
Domingo	E	E	E	D	D	E

Se observa que los cambios más significativos son en el horario de la noche, donde los niveles de servicio descienden hasta B, otorgando así, una vía libre para todos los usurarios que transitan en ese horario. En el turno de la tarde también hay cambios significativos, se reducen hasta 2 niveles de servicios, lo cual es algo significativo y nada despreciable. Por último, en la mañana también varían los niveles de servicio, pero sólo bajan 1 nivel. Para el sentido Norte – Sur el día sábado el nivel de servicio permanece igual, sin embargo, no se debe olvidar que se trata de un día atípico. Esto quiere decir que no se debería tomar en cuenta al 100% para los estudios comparativos.

13. CONCLUSIONES

Mediante los conteos realizados, se elaboraron gráficos del nivel de congestión por franjas horarias con el objetivo de identificar las horas pico durante toda la semana y, con esos datos, establecer los horarios en los que se aplicaría la tarificación vial, es decir, el aumento o disminución del precio de peaje. Los gráficos mostraron que las horas pico se presentaron en las mañanas de 7:00 a.m. a 10:00 a.m. y en las tardes-noches de 5:00 p.m. a 9:00 p.m., mientras que las horas no pico se registraron en las noches de 11:00 p.m. a 5:00 a.m. y en las mañanas de 12:00 p.m. a 3:00 p.m.

- Las encuestas fueron diseñadas para los usuarios de vehículos ligeros, pesados y transporte público a través de la plataforma Survey Monkey, con el fin de aplicarlas de manera virtual y cumplir con el tamaño de muestra previamente determinado. Los resultados obtenidos reflejaron las tendencias de los usuarios frente al cobro por congestión en el peaje de la Vía Evitamiento.

- Mediante la aplicación de encuestas a usuarios de vehículos ligeros, pesados y transporte público, se determinaron las tendencias de los usuarios frente a un incremento en el precio del peaje durante las horas pico y una reducción durante las horas no pico. Los resultados más relevantes indicaron que, en el caso de los usuarios de vehículos ligeros, un 50.70% optaría por cambiar su modo de transporte, prefiriendo el uso de transporte público para evitar el pago del peaje en horas pico, mientras que un 81.69% de quienes prefieren utilizar su vehículo particular modificaría su ruta habitual. Por otro lado, un 85.71% de los usuarios de vehículos pesados mostró una tendencia a cambiar su horario de viaje a periodos con tarifas reducidas, como madrugadas y tardes; sin embargo, si el peaje aumentara, un 75.11% optaría por cambiar de ruta y evitar transitar por la Vía Evitamiento.

- Se estimaron las elasticidades para las horas pico y no pico tanto en vehículos ligeros como pesados. Mediante las figuras 33 y 34, se determinaron los precios máximos que los usuarios del peaje de la Vía Evitamiento estarían dispuestos a pagar, siendo S/.9.40 en horas pico y S/.1.90 en horas no pico. Con estos valores, se concluyó que la demanda de vehículos ligeros en horas pico resultó elástica, lo que implica que un incremento en el precio de S/.6.60 a S/.9.40 generaría una alta sensibilidad en los usuarios, llevándolos a evitar viajar en dichas horas y provocando una disminución significativa en la cantidad de vehículos ligeros que transitarían por la vía. Por el contrario, la demanda en horas no pico fue inelástica, lo que significa que una reducción en el peaje de S/.6.60 a S/.1.90 no influiría considerablemente en el aumento de la cantidad de vehículos ligeros en la vía. En cuanto a los vehículos pesados, se determinó que la demanda en horas pico fue inelástica, ya que un aumento en la tarifa a S/.9.40 por eje no generaría una variación significativa en la cantidad de estos vehículos que circulan por la vía. Sin embargo, en horas no pico, la demanda resultó elástica, lo que indica que una disminución de la tarifa a S/.1.90 incrementaría considerablemente el número de vehículos pesados que transitarían durante dicho horario.

- Se determinaron los niveles de servicio tanto en la situación actual como en la proyectada tras la implementación de los cobros por congestión en la vía. Los resultados indicaron que los niveles de servicio actuales, tomando como referencia el día martes en el sentido sur-norte, corresponden al tipo E durante la mañana, tarde y noche, lo que evidencia que la Vía Evitamiento opera al límite de su capacidad, generando largas colas de vehículos en el tramo de estudio. Al comparar el nivel de servicio actual con el proyectado tras aplicar la tarificación vial, se observó una mejora significativa, obteniendo un nivel tipo C en la

mañana, tipo D en la tarde y tipo B en la noche. Por lo tanto, la implementación de la tarificación vial estimó una reducción de la congestión, mejorando así la calidad del flujo vehicular en la Vía Evitamiento.

REFERENCIAS

Acosta, S. (2024, 3 de abril). *Lima es la ciudad con peor tráfico vehicular de América Latina, según índice TomTom Traffic*. Rpp. Recuperado el 5 de abril de 2024, de https://rpp.pe/lima/actualidad/lima-es-la-ciudad-con-peor-trafico-vehicular-de-america-latina-segun-indice-tomtom-traffic-noticia-1545306?ref=rpp

Baghestani, A., Tayarani, M., Allahviranloo, M., & Gao, H. (2020). Evaluating the traffic and emissions impacts of congestion pricing in New York City. *Sustainability, 12(9),* 3655. https://doi.org/10.3390/su12093655

Barrera, J., & Tibatá, J. (2021). Análisis del cobro por congestión en Bogotá desde una perspectiva desagregada. *Revista Prospectiva Científica, 17*(17), 243-260. https://revista.asoegresadosuptc.com/index.php/home/article/view/55

Beria, P. (2016). Efectividad e impacto monetario del cobro de la carretera de Milán, un año después de la implementación. *International Journal of Sustainable Transportation, (10), 2-27.* http://sci-hub.tw/10.1080/15568318.2015.1083638

Ben-Akiva, M., & Lerman. S. (2022). *Discrete Choice Analysis Theory and Application to Travel Demand.* The MIT Press.

Börjesson, M., Eliasson, J., & Hamilton C. (2016). Por qué la experiencia cambia las actitudes hacia los precios de congestión: el caso de Gotemburgo. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, (85),* 3-15. https://sci-hub.tw/10.1016/j.tra.2015.12.002

Broaddus, A., Litman, T., & Menon, G. (2009). Transportation Demand Management: Training Document. *Transportation in the New Millenium, 0(0),* 1–118. https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/millennium/00123.pdf

Burris, M. (2003). Application of Variable Tolls on Congested Toll Road. *Journal of Transportation Engineering, (129),* 145-146. https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:4(354)

Campoverde, S., & Fajardo, J. (2023). *Análisis y propuesta de solución vial al congestionamiento vehicular generado en la rotonda de la Avenida 24 de mayo y Calle Rayoloma, sector del Bosque de Monay* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio de la UPS. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25727

Chen, D., Ignatius, J., Sun, D., Goh, M., & Zhan, S. (2018). Impacto de los esquemas de precios de congestión en las emisiones y el cambio temporal del transporte de carga. *Transportation Research Part E, (118),* 64-86. https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.07.006

Cipriani, E., Mannini, L., Montemarani, B., Nigro, M., & Petrelli, M. (2019). Políticas de precios de congestión: diseño y evaluación para la ciudad de Roma, Italia. *Transport Policy,* (80), 127 – 135. Recuperado de https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.10.004

Córdova, J., & Tinoco, D. (2023). *Análisis y propuesta de solución integral al congestionamiento vehicular que se produce en la Av. 24 de mayo y Vía al Valle, de la ciudad de Cuenca* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio de la UPS. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25691

Díaz Azcúnaga, J., Calatayud, A., & Giraldez, F. (2022, 2 de marzo). *Oportunidades, retos y brechas de la revolución tecnológica para la tarificación vial. Banco Interamericano de Desarrollo.* Dx.doi. Recuperado el 14 de noviembre de 2023. de http://dx.doi.org/10.18235/0004136

Galarza, D., Guerra, G., Ortegón, A., Peña, A., Pérez, M., & Ramírez, C. (2013, 7 de abril). *Cobros de congestión en ciudades colombianas*. Uniandes. Recuperado el 14 de noviembre de 2023, de https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Cobros-de-congesti%C3%B3n-en-ciudades-Colombianas_UCLULA_Abril2013.pdf

Giraldez, F. (2022, 5 de agosto). *Tarificación vial: Tecnologías para reducir la congestión vial en la región. Banco Interamericano de Desarrollo*. Moviliblog. Recuperado el 14 de noviembre de 2023, de https://blogs.iadb.org/transporte/es/tarificacion-vial-tecnologias-para-reducir-la-congestion-vial-en-la-region/

Guidoni, D., Maia, G., Souza, F., Villas, L., & Loureiro, A. (2020). Vehicular traffic management based on traffic engineering for vehicular ad hoc networks. *IEEE Access*, 8, 46044–46059. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2978700

Guzmán, J. (2022, 1 de noviembre). *La mejor estrategia para reducir la congestión es ponerle un precio*. Transecto. Recuperado el 25 de abril de 2023, de https://transecto.com/2022/11/tarificacion-por-congestion/

Herrera Medina, C. A. (2022). *Propuesta de solución para reducir el congestionamiento vehicular en la avenida Augusto B. Leguía, región Lambayeque 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio de la USAT. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/5468/8/TL_HerreraMedinaCarlos.pdf

Hidalgo, D., Pardo, C., Quiñonez, L., Van, T., & Mosco, M. (2019, 12 de febrero). *Transporte urbano sostenible en América Latina*. Despacio. Recuperado el 25 de abril de 2023, de https://www.despacio.org/wp-content/uploads/2020/02/SUTLac-ESP-05022020-web.pdf

Holguín, J., Sánchez, I., & Reim, B. (2016). Adopción de ETC, elección de tiempo de viaje y políticas integrales para mejorar los precios de la hora del día: una investigación de preferencia declarada. *Transportation, (43),* 6-24. http://sci-hub.tw/10.1007/s11116-014-9575-9

Instituto de Opinión Pública (2018, diciembre). *Encuesta lima cómo vamos: ix informe de percepción sobre calidad de vida*. (Informe técnico N°9). https://www.limacomovamos.org/wp-content/uploads/2018/12/EncuestaLimaComoVamos2018.pdf

Kreindler, G. (2024). Tarifas por congestión vial en horas pico: evidencia experimental e implicaciones de equilibrio. *Econometrica, 4(92),* 1233-1268. https://doi.org/10.3982/ECTA18422

Laval, J., Cho, H., Muñoz, J., & Yin, Y. (2015). Estrategias de precios de congestión en tiempo real para instalaciones de peaje. *Transportation Research Part B: Methodological, (71),* 20-29. http://sci-hub.tw/10.1016/j.trb.2014.09.015

Lehe, L. (2019). Práctica de la tarificación vial en centros de ciudades. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies,* (100), 202-208. http://sci-hub.tw/10.1016/j.trc.2019.01.020

Li, Y., Guo, Y., Lu, J., & Peeta, S. (2019). Impactos de los precios de congestión y estrategias de recompensa en las decisiones de cambio de modo de viaje diario de los viajeros de

automóviles. *Transportation Research Part A, (125),* 72-88. https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.05.008

Loane, M., & Ketter, W. (2021, 21 de diciembre). *How road pricing is tackling congestion and pollution in cities like London and Singapore.* World Economic Forum. Recuperado el 11 de septiembre de 2023, de https://www.weforum.org/stories/2021/12/how-road-pricing-is-tackling-congestion-and-pollution-in-cities/

Lobos, G., & Saens, R. (2013). Elasticidad precio de la demanda por autopistas interurbanas en Chile. *Lecturas de Economía, (79),* 145-146. https://sci-hub.se/http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/lecturasdeeconomia/article/view/17951/15409

Louviere, J., Hensher, D., & Swait, J. (2000). *Stated choice methods: analysis and applications. Cambridge.* Cambridge University Press.

Melgarejo, L. (2018). *Alternativas de explotación de la autopista ap-7 a su paso por la provincia de Alicante.* [fotografía]. https://ineca-alicante.es/wp-content/uploads/2018/04/ESTUDIO-AP_7-completo-web-Ineca.pdf.

Mendoza, A., & Mendoza, C. (2020). *Análisis del flujo vehicular y los niveles de servicio en el Puente Grau y sus vías aledañas en la ciudad de Arequipa – 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio de la UCSM. https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/b85182f4-0e1b-4b0d-8b9b-4a3852b4f1b4

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2023, noviembre). *Flujo Vehicular en las unidades de peaje*. (Informe técnico N°1).

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5722332/5081152-flujo-vehicular-por-unidades-de-peaje-noviembre-2023.pdf

Montezuma, R. (2013, 11 de octubre). *Del transporte a la movilidad sostenible.* transitemos. Recuperado el 11 de septiembre de 2023, de https://transitemos.org/wp-content/uploads/2017/09/Del_transporte_a_la_movilidad.pdf

Morisaki, A. (2024, 3 de setiembre). *Comercialización de vehículos nuevos registra resultados positivos en setiembre 2024.* Asociación de automotores del Perú. Recuperado el 5 de setiembre de 2024 https://aap.org.pe/comercializacion-de-vehiculos-nuevos-registra-resultados-positivos-en-setiembre-2024-sunarp/

Naranjo, V. (2008). *Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales.* Universidad Nacional De Colombia Sede Manizales.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2016, junio). *La contaminación sonora en Lima y Callao.* Gob.pe. Recuperado el 26 de abril de 2023, de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1256645/La%20contaminaci%C3%B3n%20sonora%20en%20Lima%20y%20Callao.pdf

Ortuzar, J. (2003). El problema de modelación de demanda desde una perspectiva desagregada: el caso del transporte. *Pontificia Universidad Católica de Chile, 1(88),* pp. 149-171. https://www.redalyc.org/pdf/196/19608807.pdf

Pereyra, F. (2021). *El problema de la congestión del transporte urbano en Lima y Callao, los agentes comprometidos y el sistema perverso de incentivos: Hipótesis para las alternativas*

de solución [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional de la UNI. https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/22318

Pérez, A. (2023, 29 de junio). *La ausencia de planificación urbana en lima a partir de la tradición «Un cerro que tiene historia» de Ricardo Palma: una lectura social y arquitectónica.* Revistas.urp. Recuperado el 14 de noviembre de 2023, de https://revistas.urp.edu.pe/index.php/El_Palma_de_la_Juventud/article/view/5558/8682

Poquioma, F. (2021). *Sistema de clasificación y categorización interna para el control vehicular en los peajes de Lima* [Trabajo de experiencia profesional, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio de la UNFV. https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/4856/EXPERIENCIA%20PROFESIONAL_POQUIOMA%20SOLES%20FIORELA_REPOSITORIO%20CIENTIFICO_2021.pdf?Sequence=1&isallowed=y

Pompilio, J. (2006). Diseño de un experimento de preferencias declaradas para la elección de modo de transporte urbano de pasajeros. *Revista De Economía Y Estadística, 44(2),* 81-123. https://revistas.unc.edu.ar/index.php/REyE/article/view/3832

Posada, C. (2018, 26 de febrero). Aumento continuo del parque automotor, un problema que urge solucionar. *Comercio Exterior*. La Cámara. Recuperado el 17 de septiembre de 2023, de https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r816_3/comercio%20exterior.pdf

Pozueta, J. (2008). La experiencia internacional en peajes urbanos, Universidad Politécnica de Madrid. *Cuadernos de Investigación Urbanística, 1(58),* 4-112. https://www.researchgate.net/publication/43138707_La_experiencia_internacional_de_peajes_urbanos

Ramos, W., & Salcedo, A. (2022). *Propuesta para reducir el congestionamiento vehicular y capacidad vial en la carretera central PE. 3SB, Distrito Pilcomayo, Junín, 2022* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/110272

Raux, C. (2010). El potencial para el comercio de emisiones de CO2 en el transporte: el caso de vehículos personales y carga. *Energy Efficiency, (3),* 133–148. https://sci-hub.tw/10.1007/s12053-009-9065-7

Rodriguez, T. (2023). *Evaluación del tránsito y propuesta para disminuir la congestión vehicular en el entorno de la avenida Salaverry* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio de la USAT. https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/6422

Romero, J., Cano, M., Doménech, G., & Morales, V. (2018). Traffic Metrics at Urban Intersections using a Low-Cost Image Processing Approach. *Association for Computing Machinery,* (9)*,* 1-7. https://doi. org/10.1145/3243394.3243693. https://scielo.pt/pdf/rist/n54/1646-9895-rist-54-69.pdf

Sathaye, J., Tyler, S., & Goldman, N. (1994). Transporte, uso de combustible y calidad del aire en ciudades asiáticas. *Energy,* (19), 573–586. https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/0360-5442(94)90053-1

Secretaría de Movilidad de Manizales (2022, julio). *Plan de acción de logística urbana baja en carbono.* (Informe técnico N°1). https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2022/09/resumen-lcap-f-manizales-final.pdf

Spiegel, M., & Larry, S. (2009). *Estadística. 4ta Edición.* Mc Graw Hill.

Sisk, E. (2019, 6 de setiembre). *Ciudades sostenibles: cobro de congestión en tres lugares trabajado.* Apolitical. Recuperado el 14 de noviembre de 2023, de https://apolitical.co/solution-articles/es/ciudades-sostenibles-tres-lugares-cobro-de-congestion-trabajado

Tresingenieros. (2020, 11 de mayo). *Niveles de servicio del Viaducto de Kensington.* Tresingenieros. Recuperado el 25 de abril de 2023, de https://www.tresingenieros.com/sistemas-de-transporte-inteligente/02-necesidad-de-los-its/sistemas-de-transporte-inteligente-03-necesidad-de-los-its-ejemplo-de-region-urbana-niveles-de-servicio/

The economist. (2014, 11 de octubre). *Divide and bribe*. Recuperado el 14 de noviembre de 2023, de https://www.economist.com/the-americas/2014/10/11/divide-and-bribe

Vanoutrive, T., & Zijlstra, T. (2018). ¿Quién tiene derecho a viajar durante las horas pico? Sobre precios de congestión y viajeros "deseables". *Transport Policy, (63),* 98-107. https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.12.020

Vega, Z. (2018). *Análisis de la Capacidad y Niveles de Servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio de la UNC. https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1834

Yang, J., Purevjav, A., & Li, S. (2020). The marginal cost of traffic congestion and road pricing: Evidence from a natural experiment in Beijing. *American Economic Journal: Economic Policy, 12(1)*, 418–453. https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/pol.20170195

Yu, W., Suh, D., Song, S., Jiao, B., Zhang, L., & Muennig, P. (2019). La rentabilidad de los planes competitivos de precios de congestión en la ciudad de Nueva York. *Journal of Transport & Health, (14),* 1-9. https://scihub.tw/https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.100586

Ziad, T., Verdezoto, A., Cabrer, F., & Roa, O. (2020). Análisis del congestionamiento vehicular para el mejoramiento de vía principal en Guayaquil-Ecuador. *Gaceta Técnica, 21(2*), 4-23. http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.21905.04960

ANEXOS

Anexo A. Gráfico de congestión por categoría de vehículo

Figura 39

Distribución de vehículos ligeros durante la semana en el sentido Sur – Norte

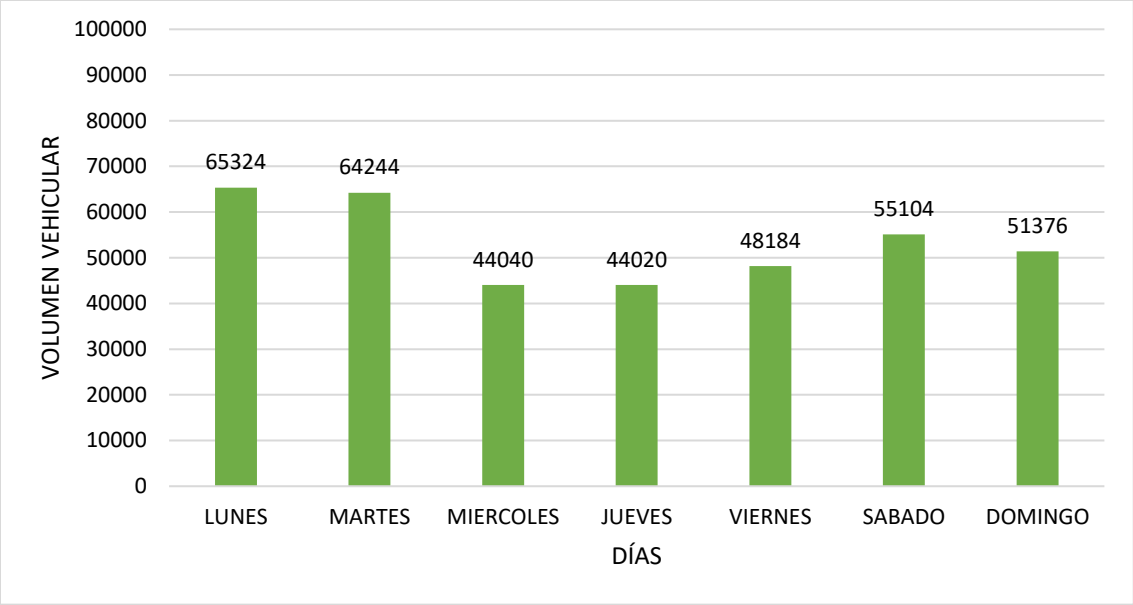


Figura 40

Distribución de vehículos ligeros durante la semana en el sentido Sur – Norte

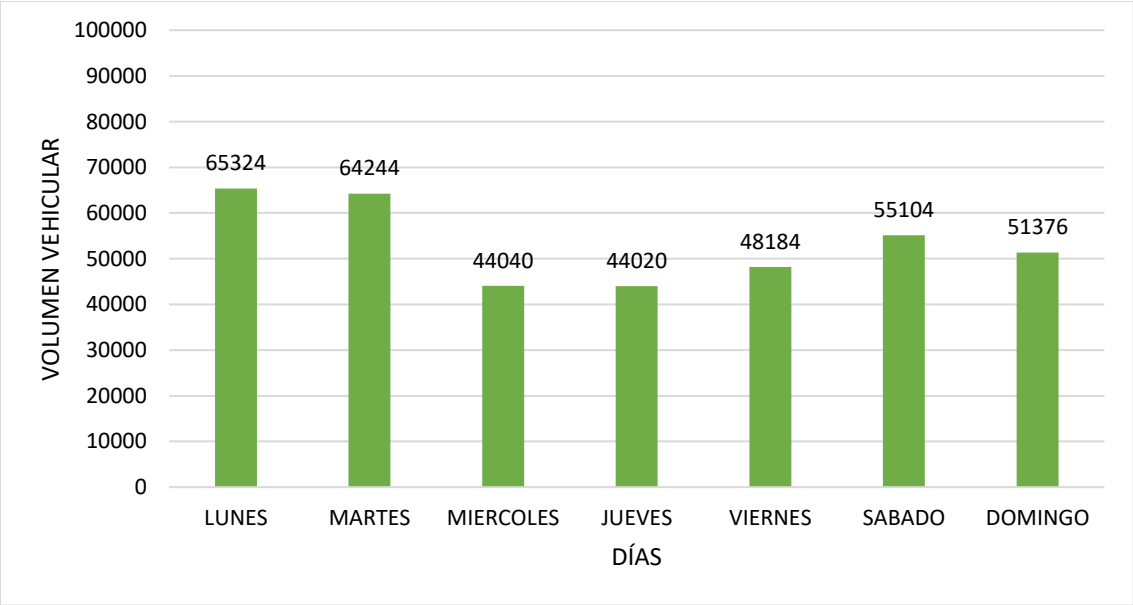


Figura 41

Distribución de vehículos ligeros durante la semana en el sentido Norte – Sur

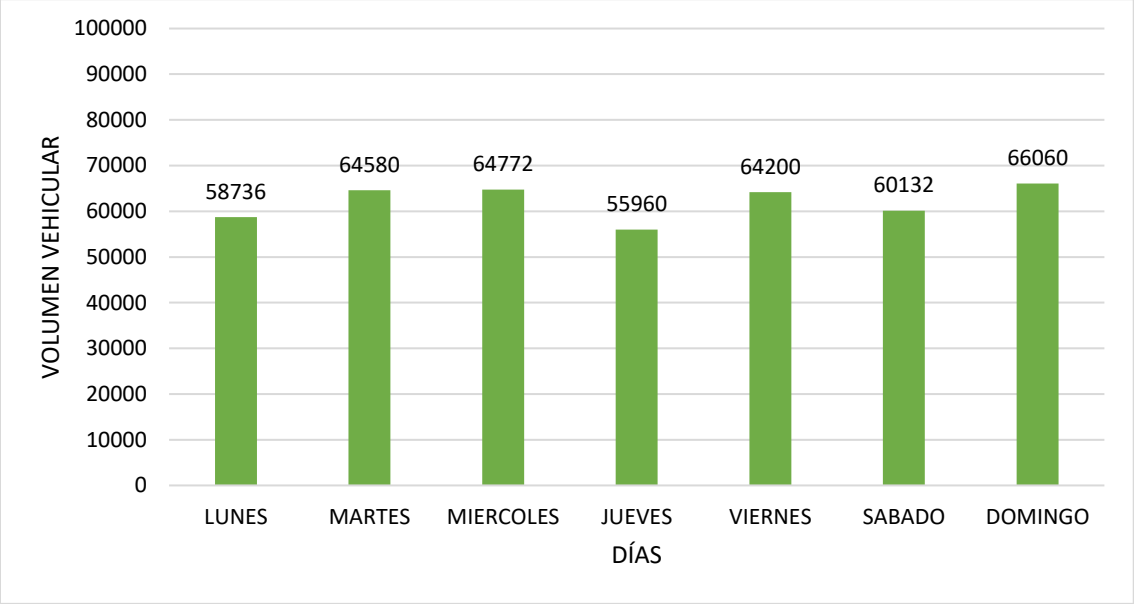


Figura 42

Distribución de vehículos pesados durante la semana en el sentido Sur – Norte

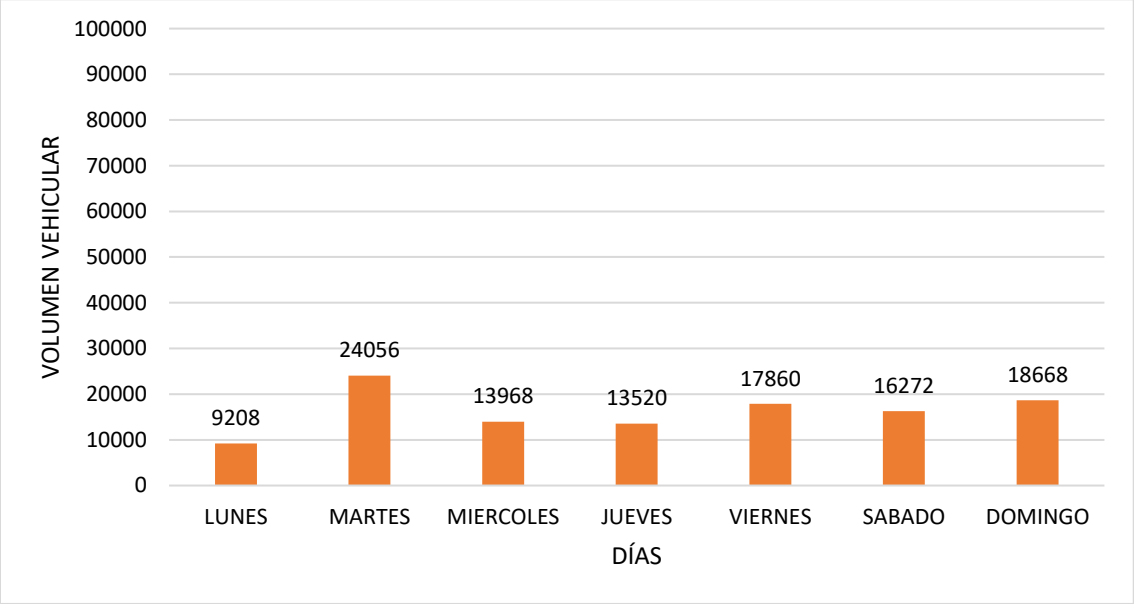


Figura 43

Distribución de vehículos pesados durante la semana en el sentido Norte – Sur

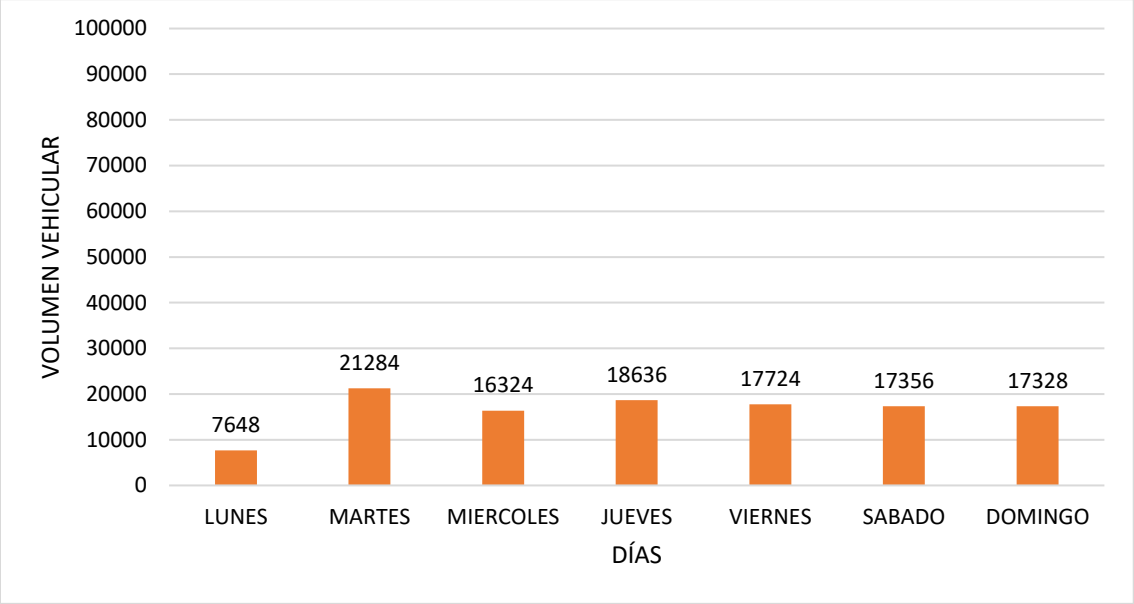


Figura 44

Distribución de vehículos públicos durante la semana en el sentido Sur – Norte

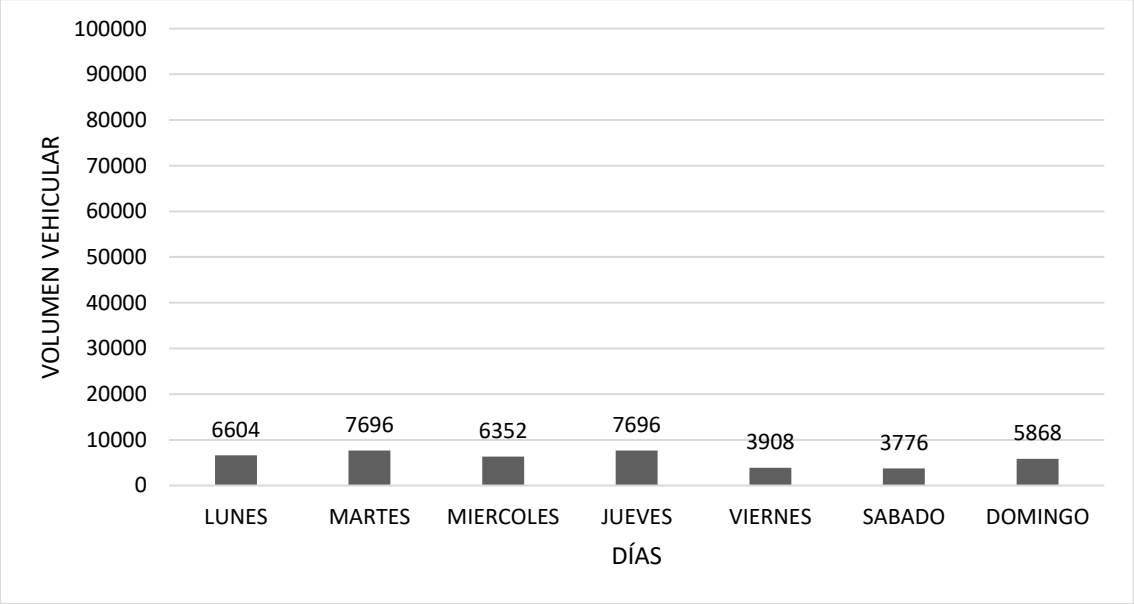
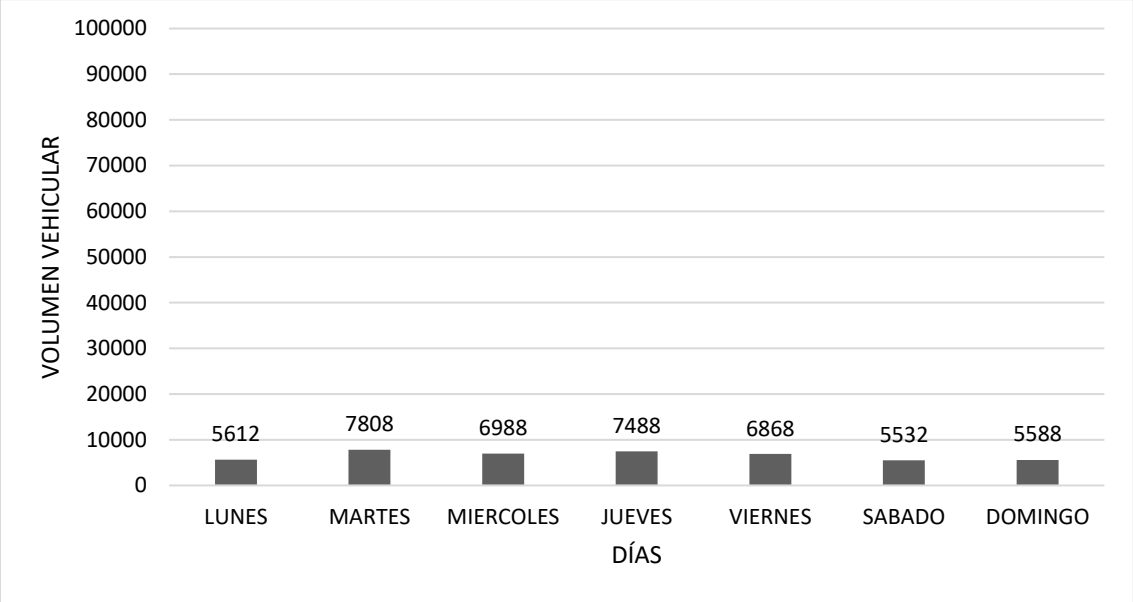


Figura 45

Distribución de vehículos públicos durante la semana en el sentido Norte – Sur



Anexo B. Gráficos de congestión por tipo de vehículos de lunes a domingo en el sentido de Sur – Norte

Figura 46

Distribución de tipos de vehículos el lunes en el sentido Sur – Norte

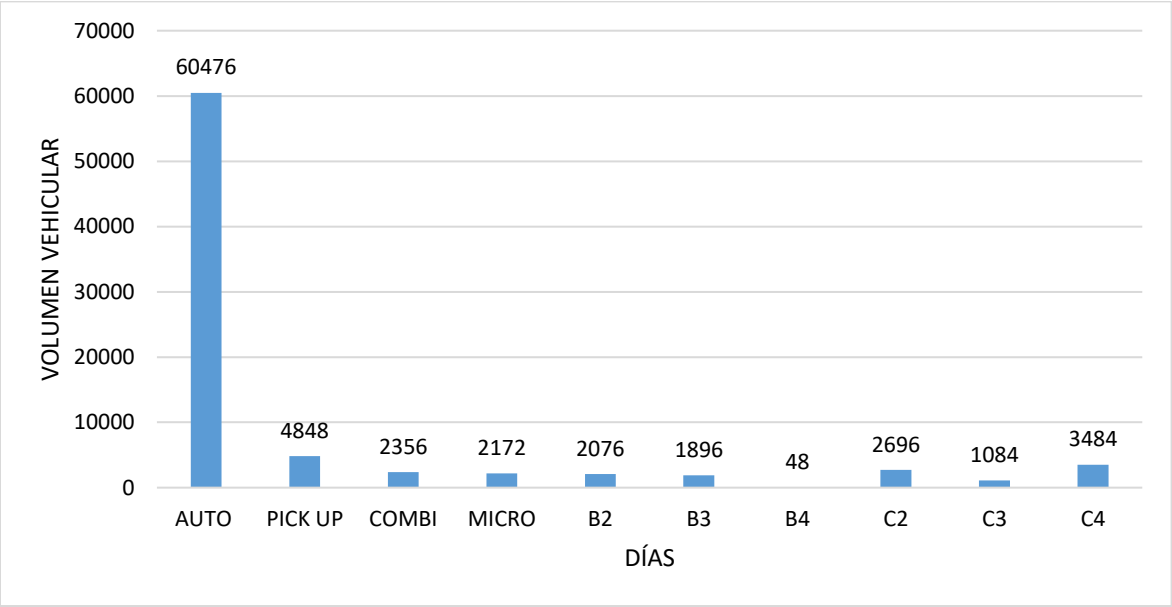


Figura 47

Distribución de tipos de vehículos el martes en el sentido Sur – Norte

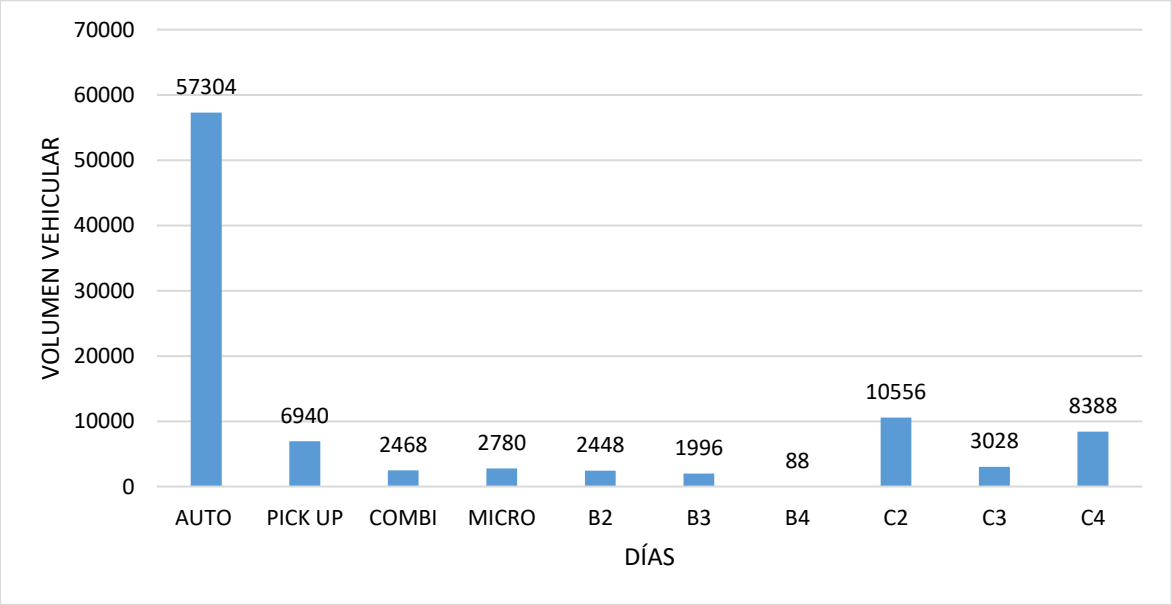


Figura 48

Distribución de tipos de vehículos el miércoles en el sentido Sur – Norte

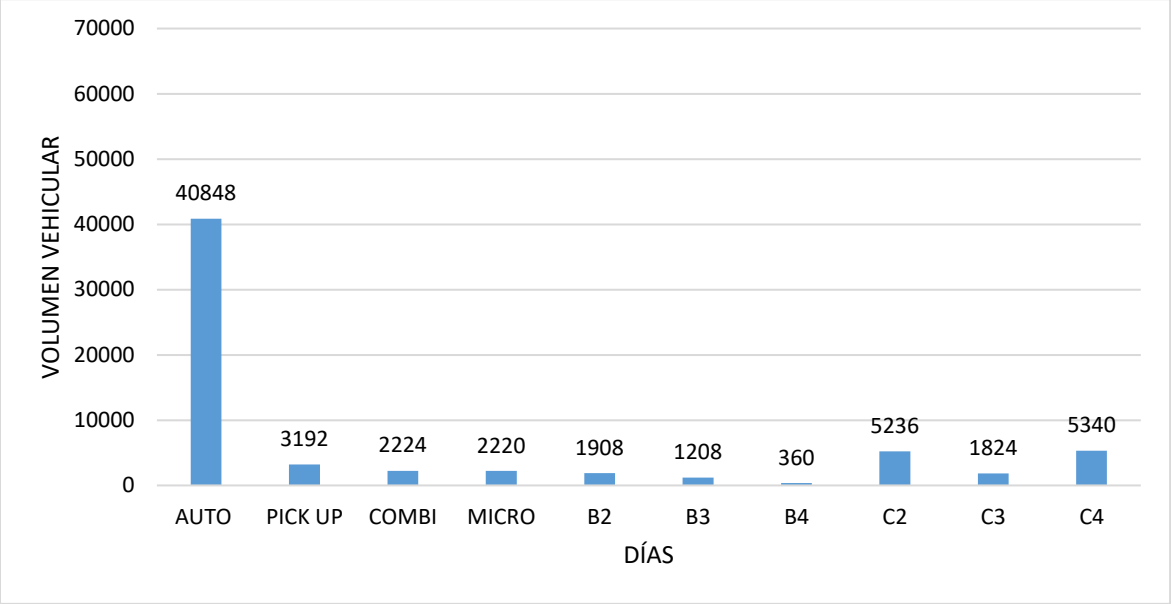


Figura 49

Distribución de tipos de vehículos el jueves en el sentido Sur – Norte

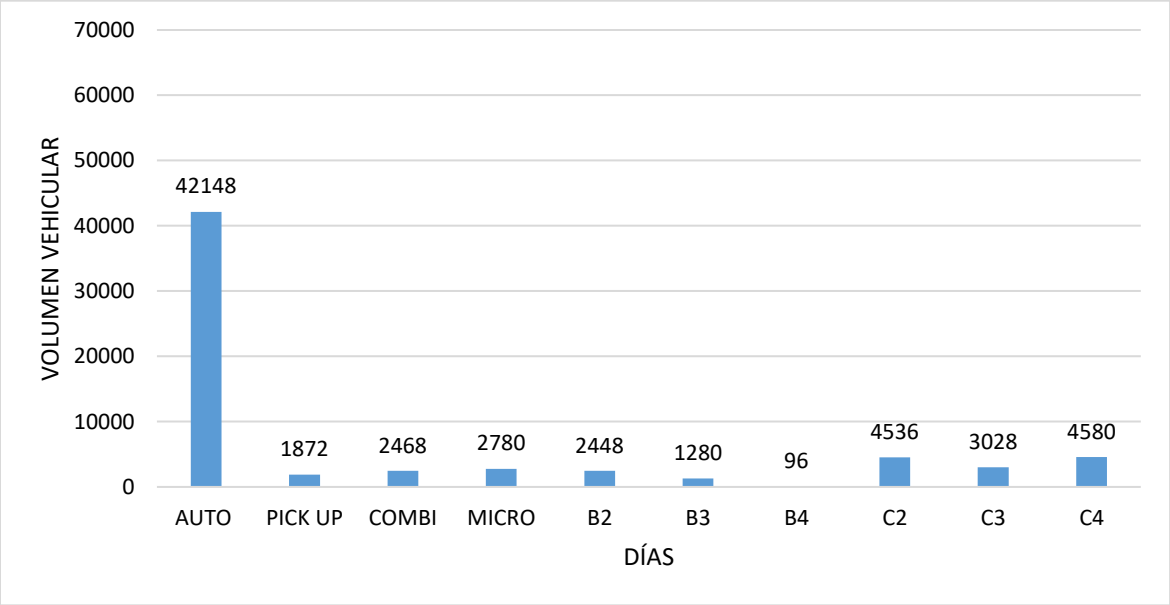


Figura 50

Distribución de tipos de vehículos el viernes en el sentido Sur – Norte

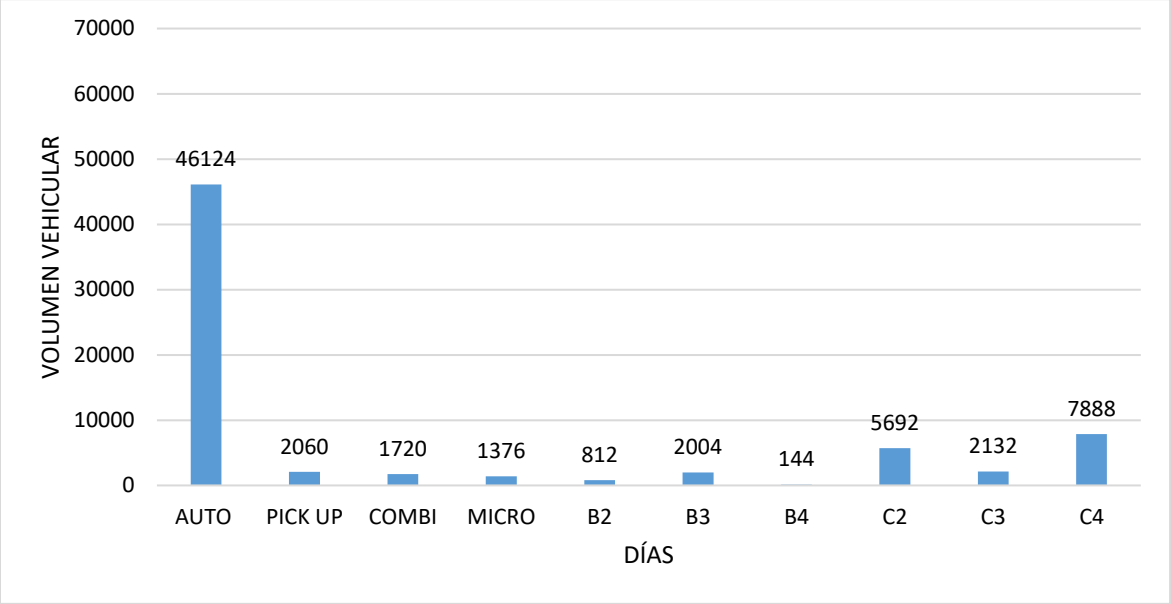


Figura 51

Distribución de tipos de vehículos el sábado en el sentido Sur – Norte

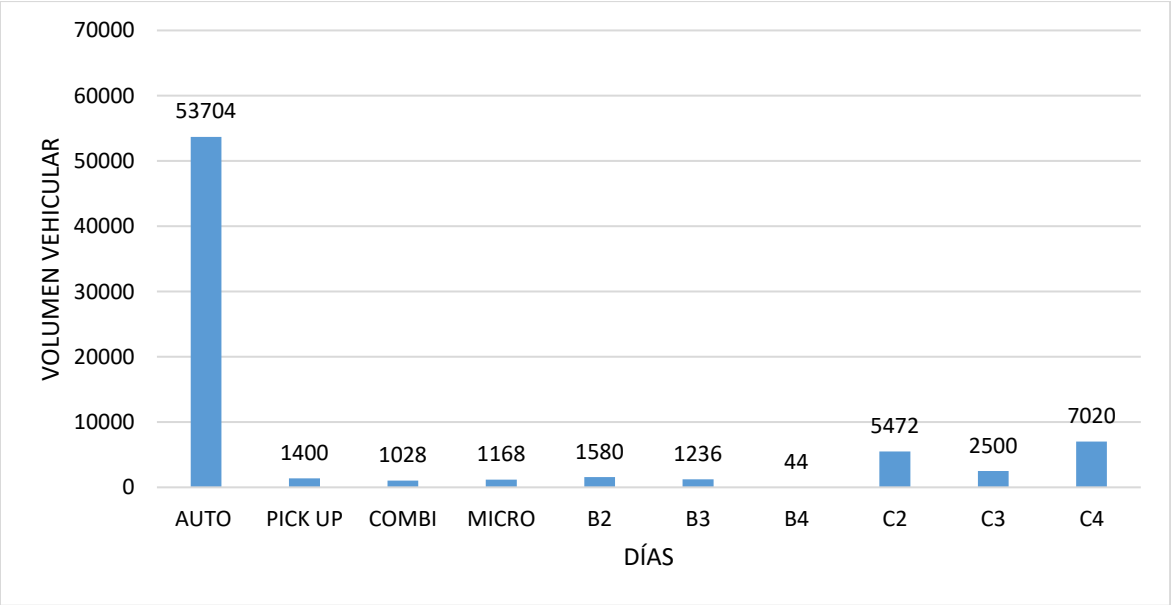
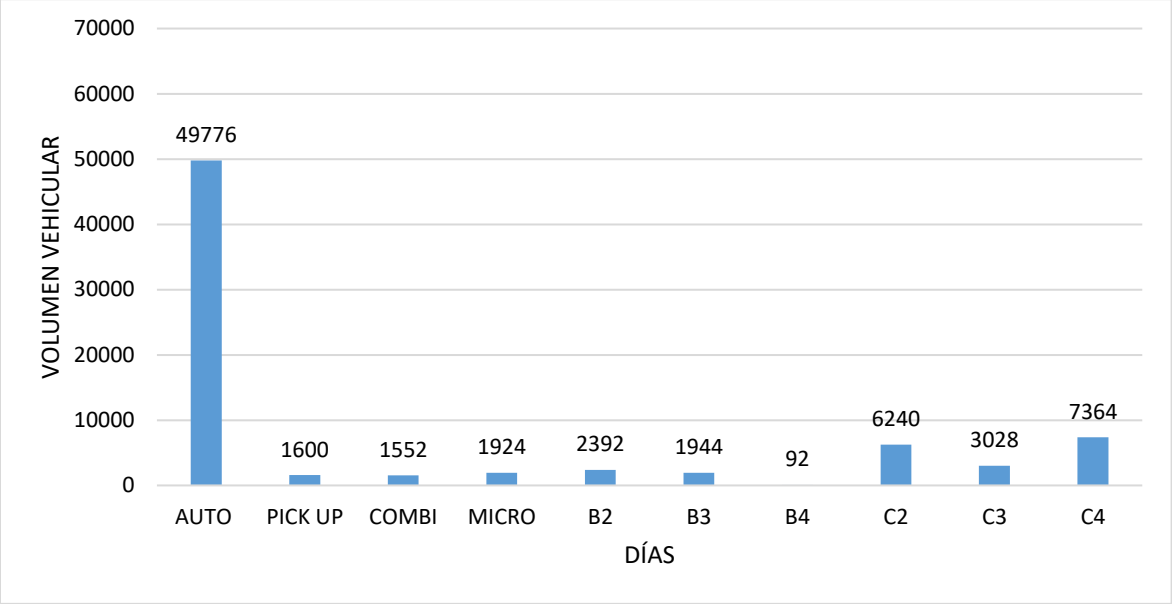


Figura 52

Distribución de tipos de vehículos el domingo en el sentido Sur – Norte



Anexo C. Gráficos de congestión por tipo de vehículos de lunes a domingo en el sentido de Norte - Sur

Figura 53

Distribución de tipos de vehículos el lunes en el sentido Norte – Sur

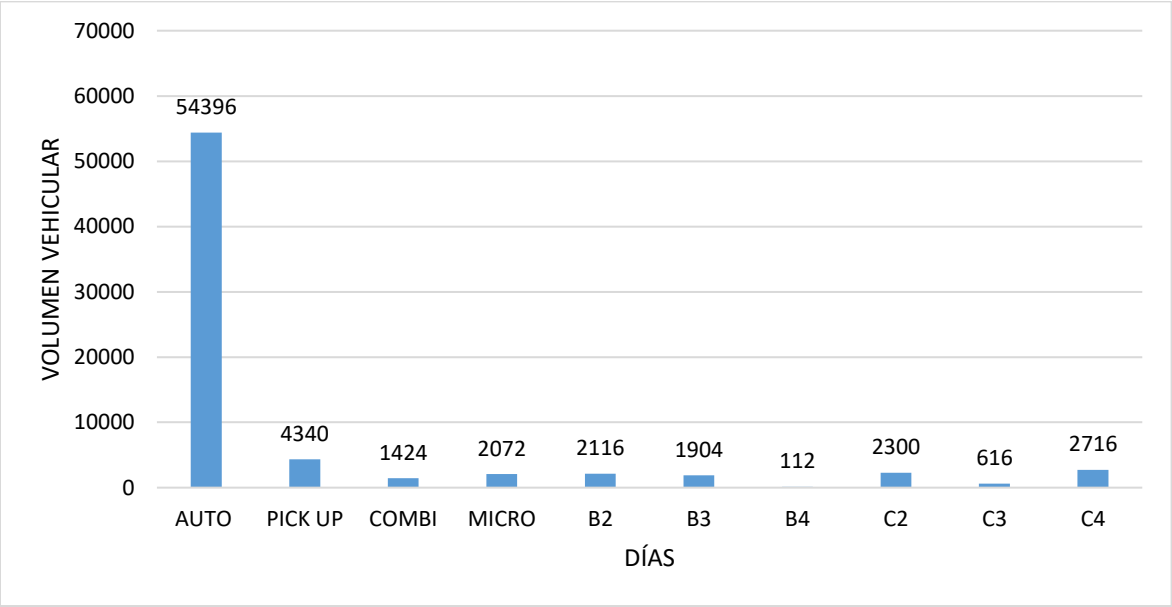


Figura 54

Distribución de tipos de vehículos el martes en el sentido Norte – Sur

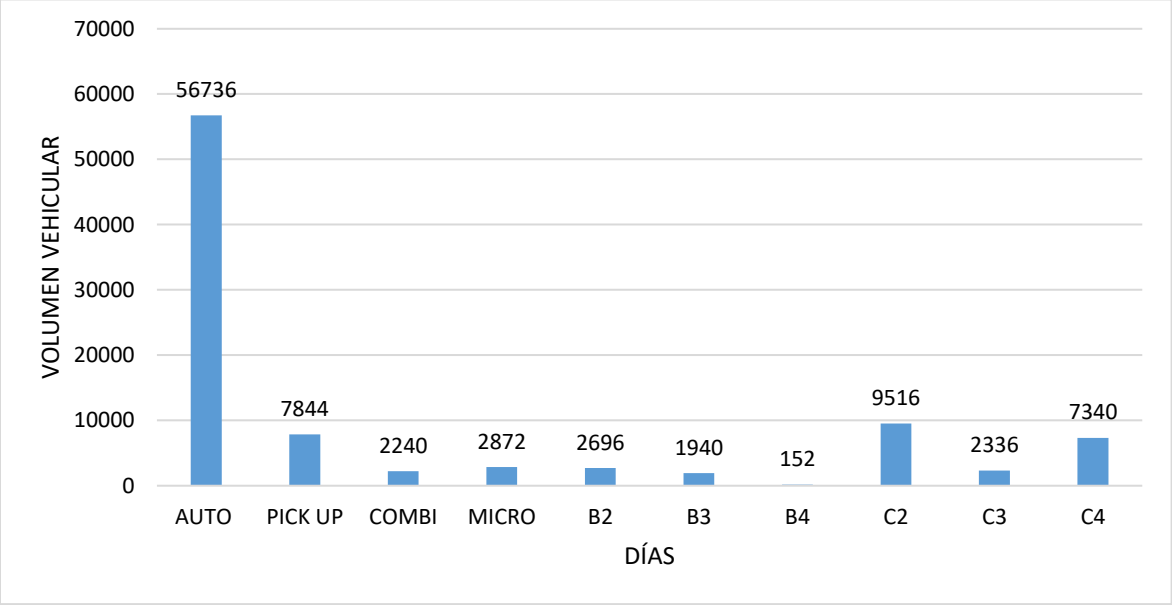


Figura 55

Distribución de tipos de vehículos el miércoles en el sentido Norte – Sur

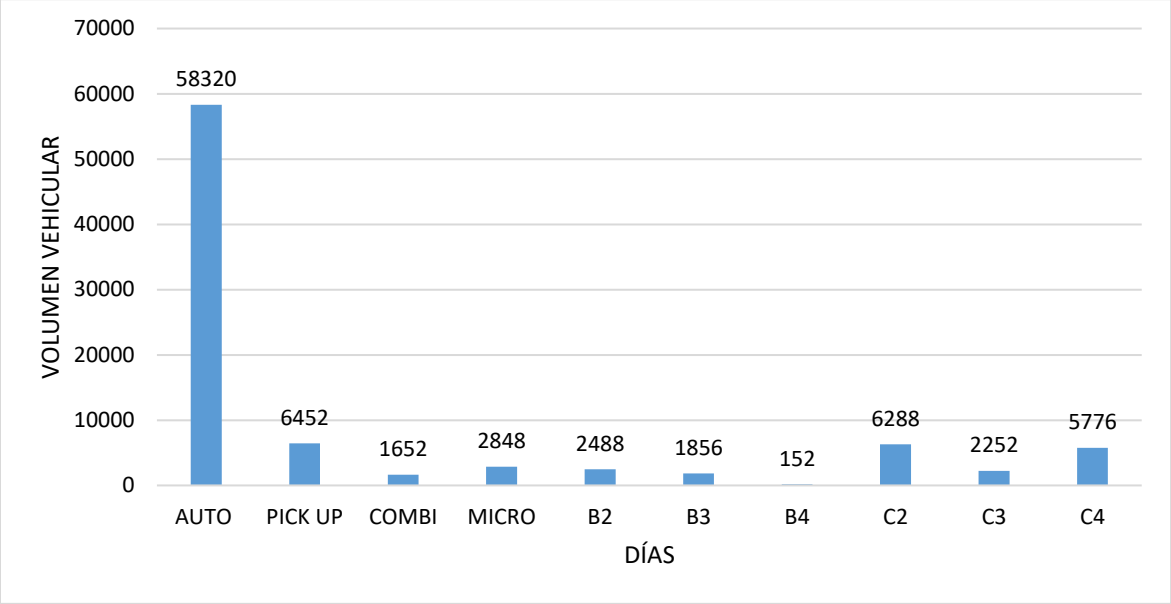


Figura 56

Distribución de tipos de vehículos el jueves en el sentido Norte – Sur

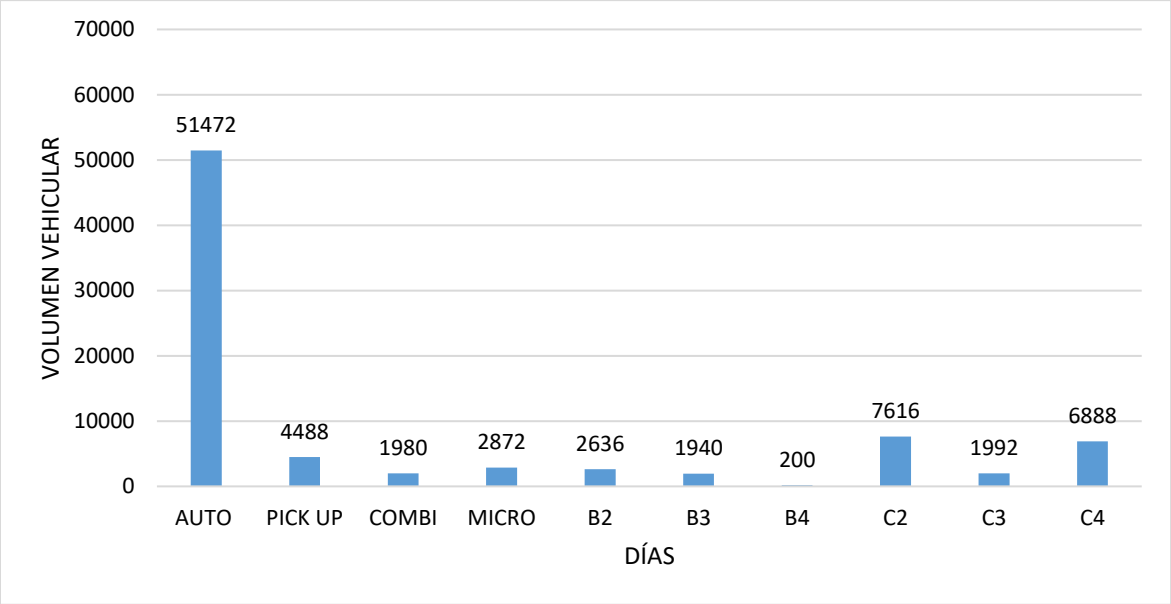


Figura 57

Distribución de tipos de vehículos el viernes en el sentido Sur – Norte

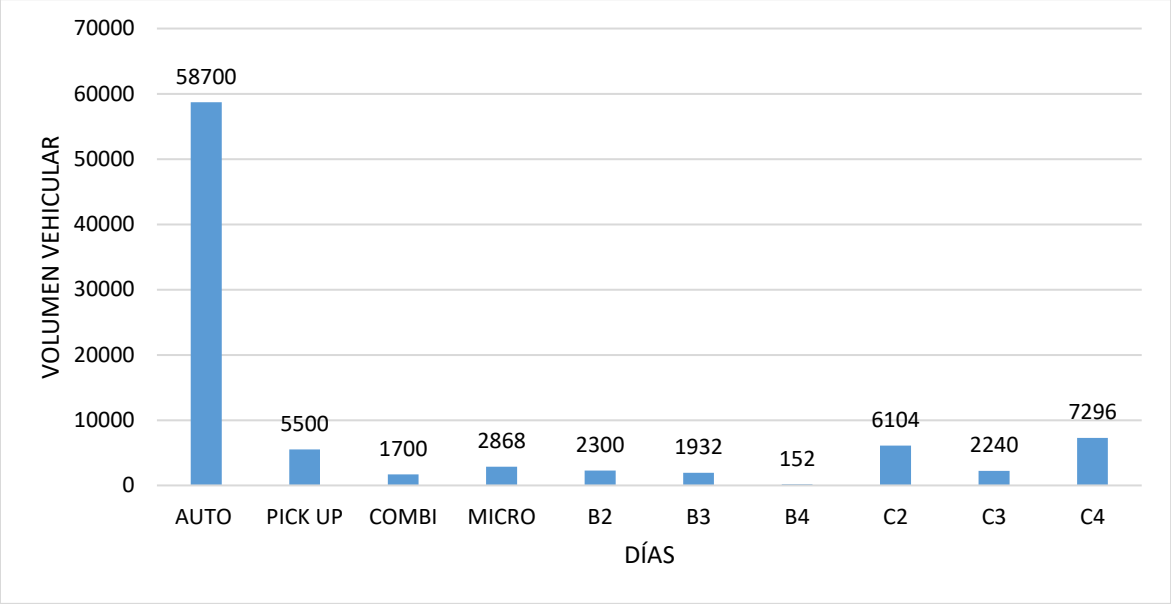


Figura 58

Distribución de tipos de vehículos el sábado en el sentido Norte – Sur

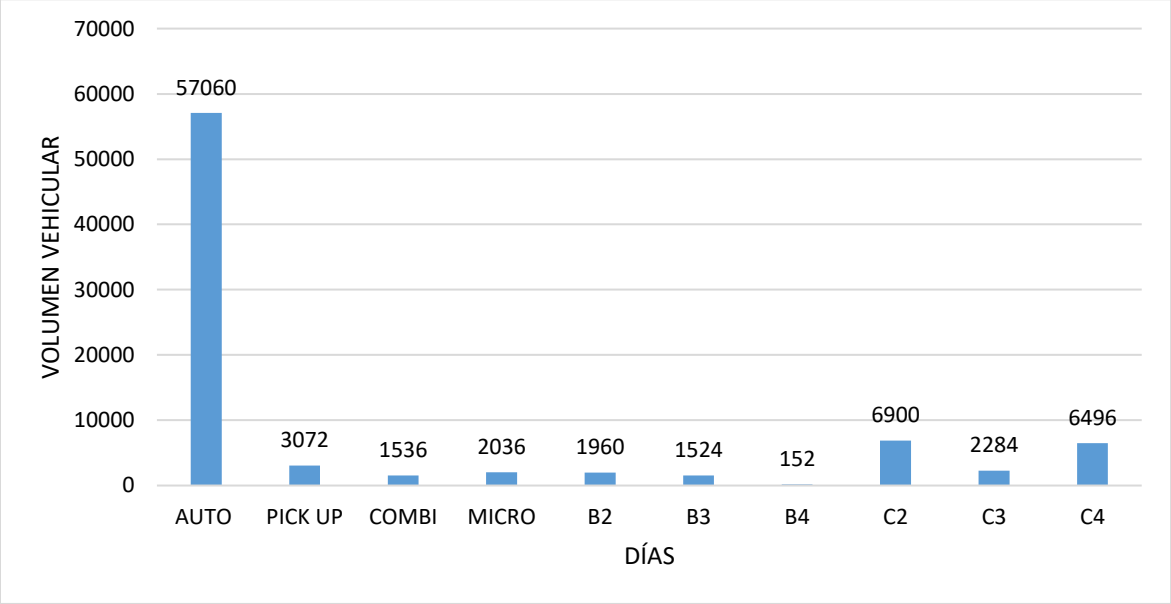
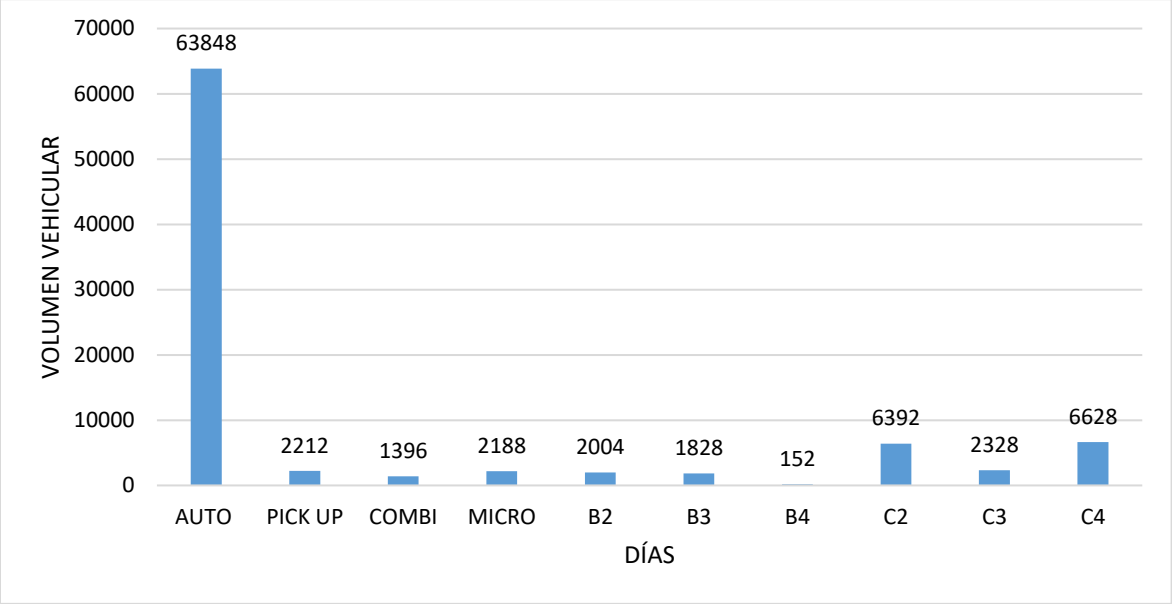


Figura 59

Distribución de tipos de vehículos el domingo en el sentido Norte – Sur



Anexo D. Gráficos de congestión por horas de lunes a domingo en el sentido de Sur – Norte

Figura 60

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del lunes en el sentido Sur - Norte

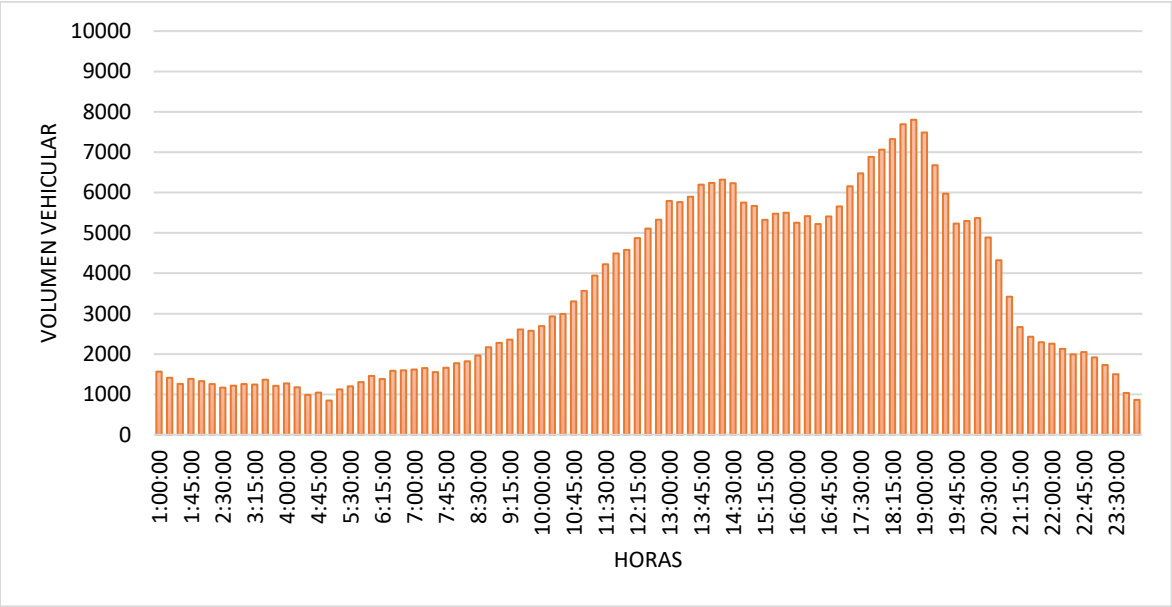


Figura 61

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del martes en el sentido Sur - Norte

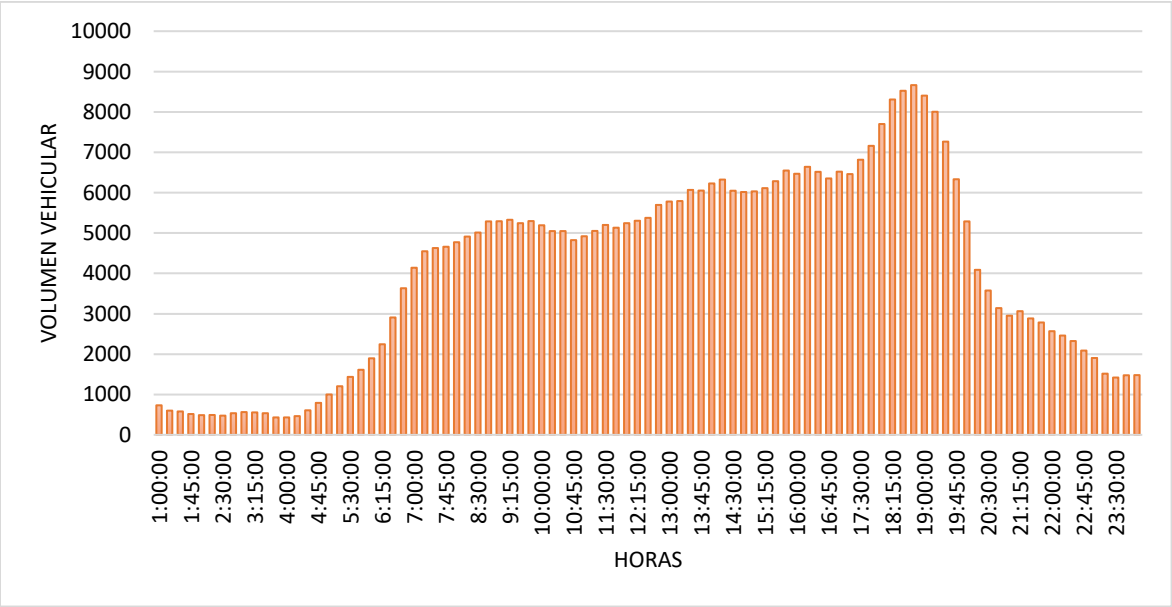


Figura 62

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del miércoles en el sentido Sur – Norte

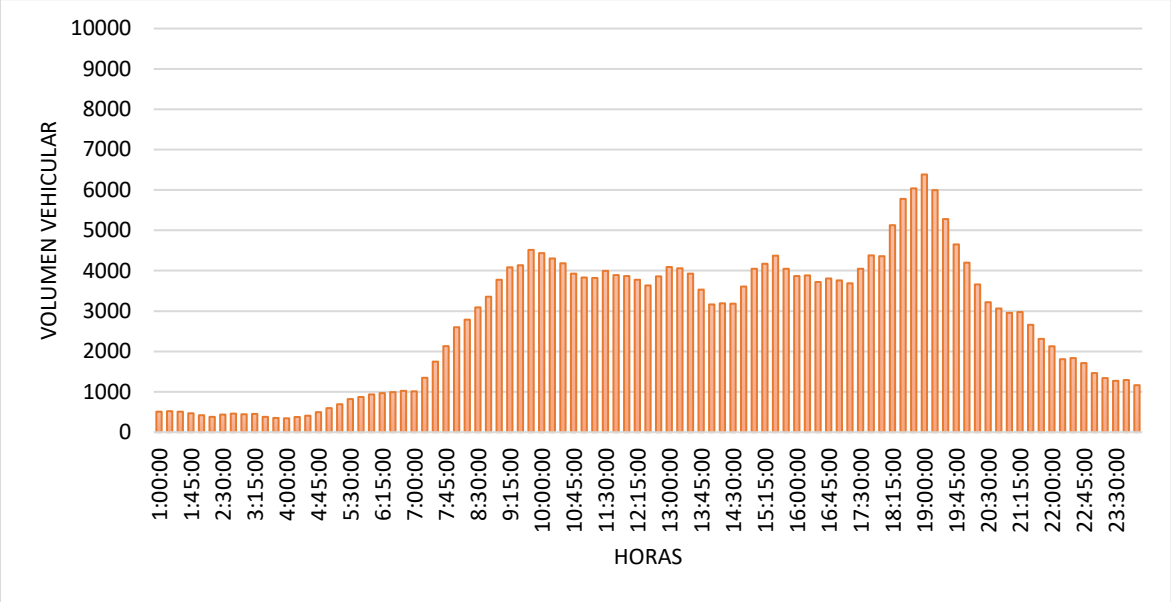


Figura 63

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del jueves en el sentido Sur – Norte

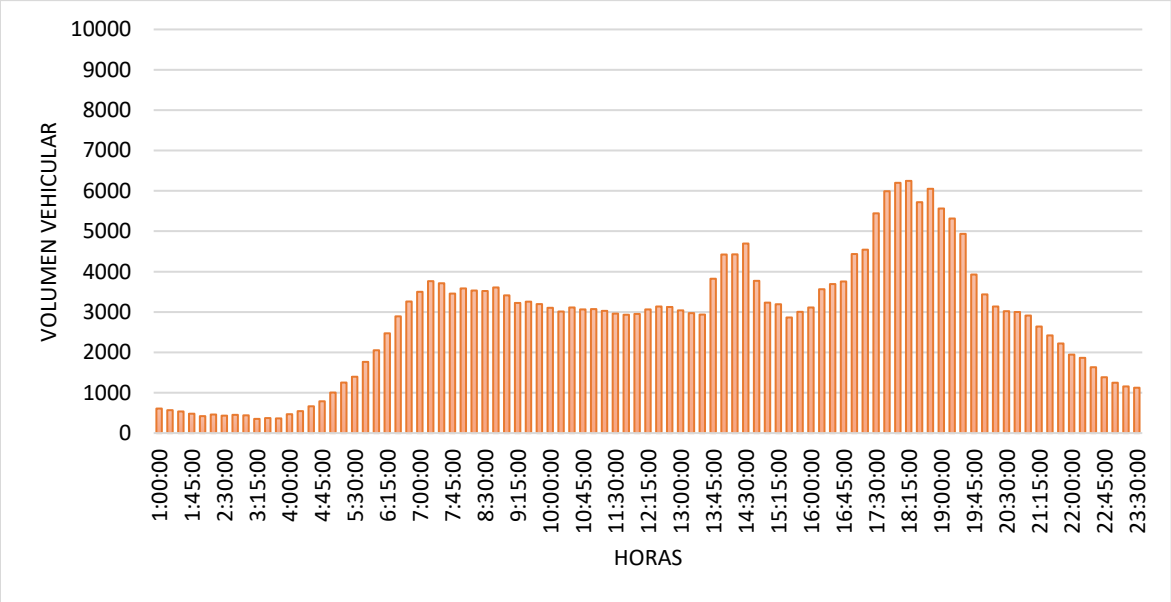


Figura 64

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del viernes en el sentido Sur - Norte

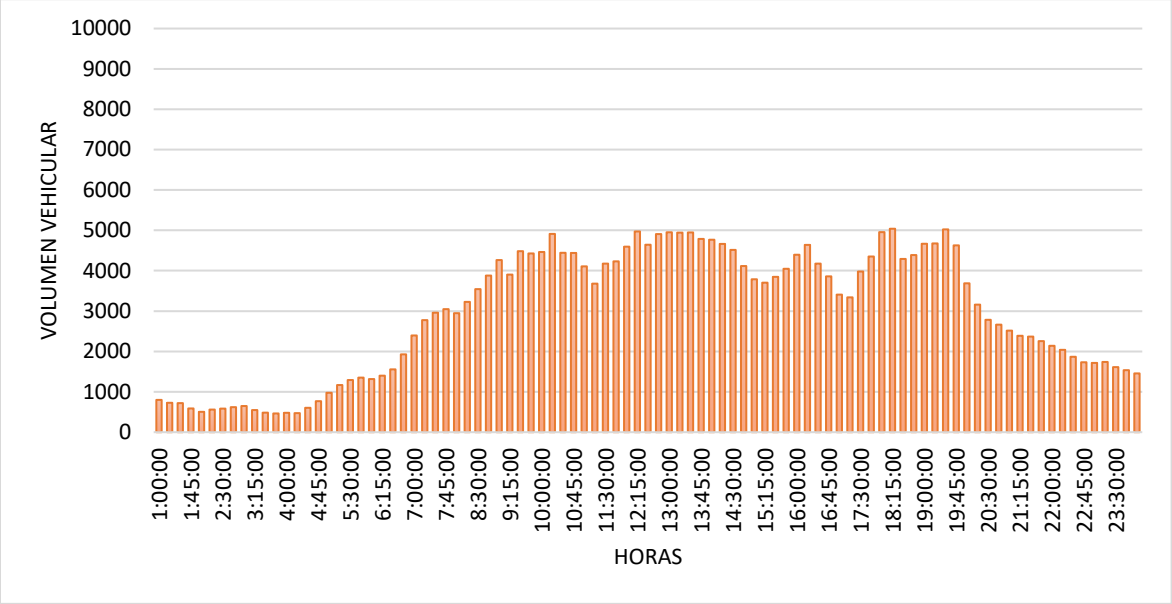


Figura 65

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del sábado en el sentido Sur - Norte

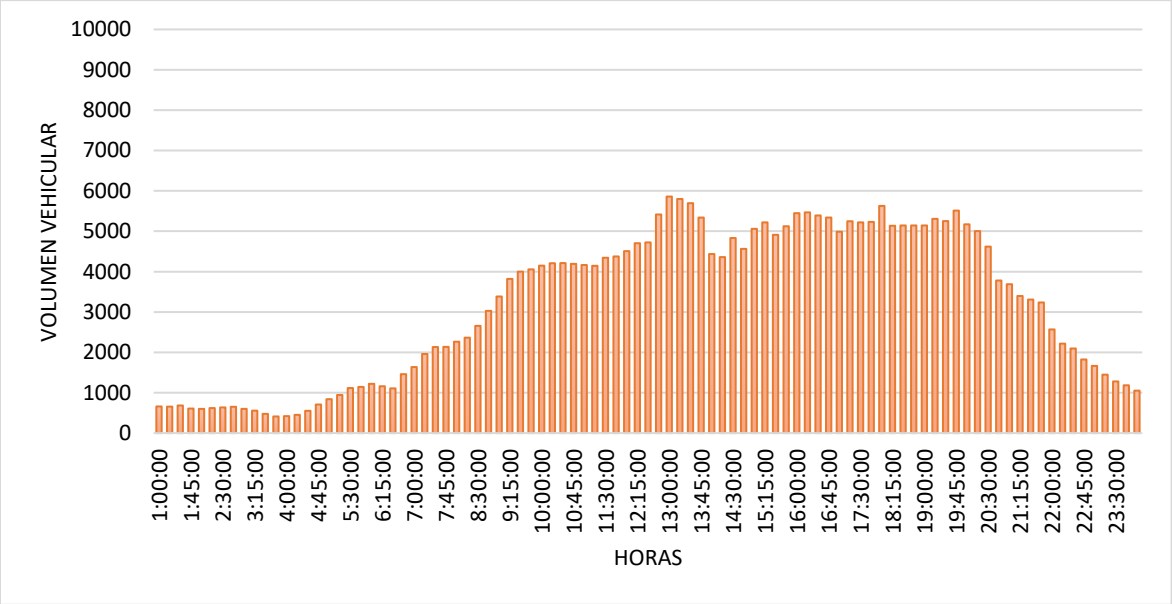
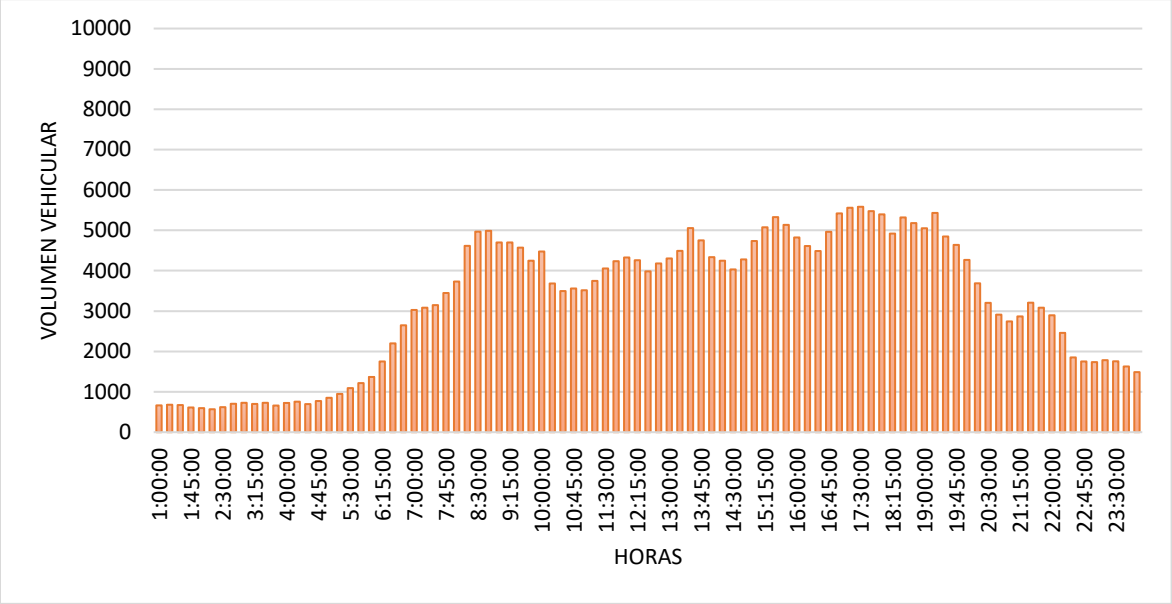


Figura 66

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del en el sentido Sur – Norte



Anexo E. Gráficos de congestión por horas de lunes a domingo en el sentido de Norte – Sur

Figura 67

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del lunes en el sentido Norte - Sur

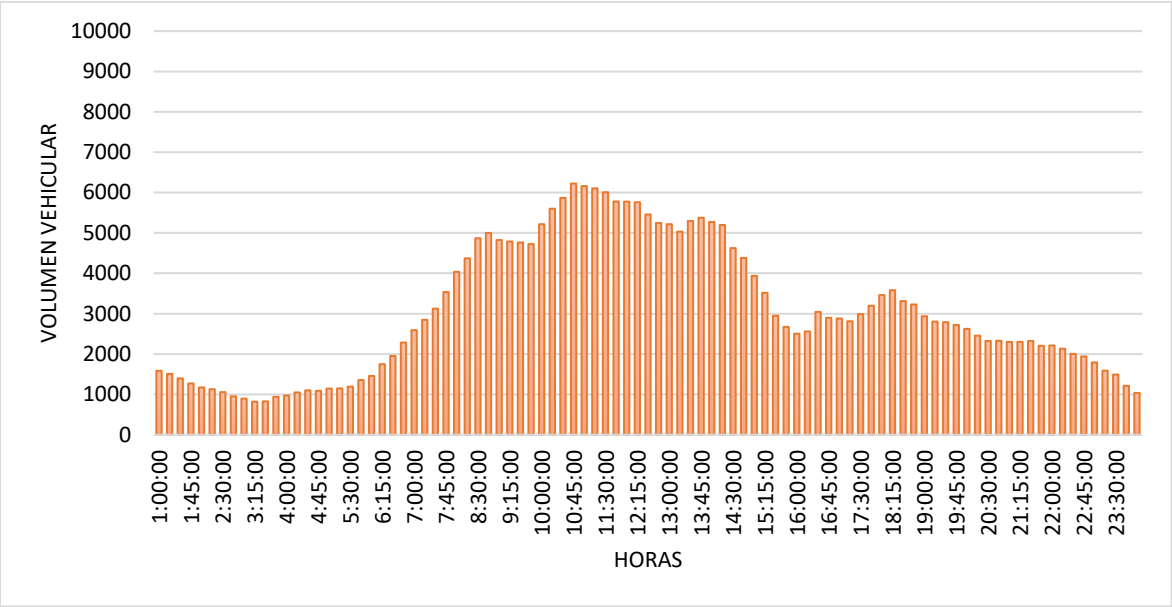


Figura 68

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del martes en el sentido Norte - Sur

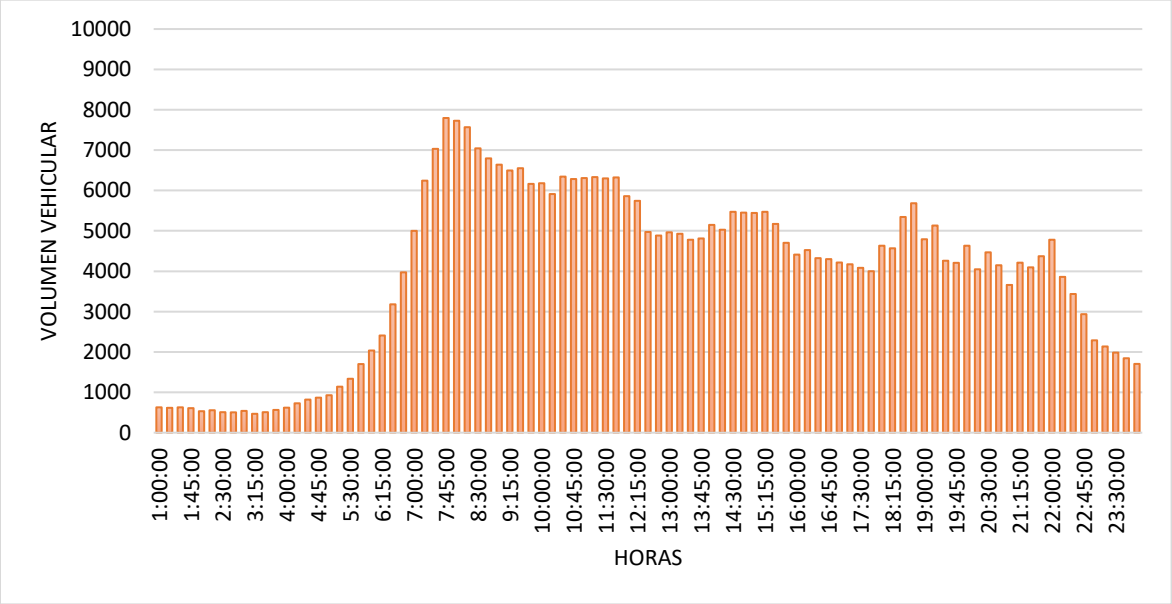


Figura 69

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del miércoles en el sentido Norte – Sur

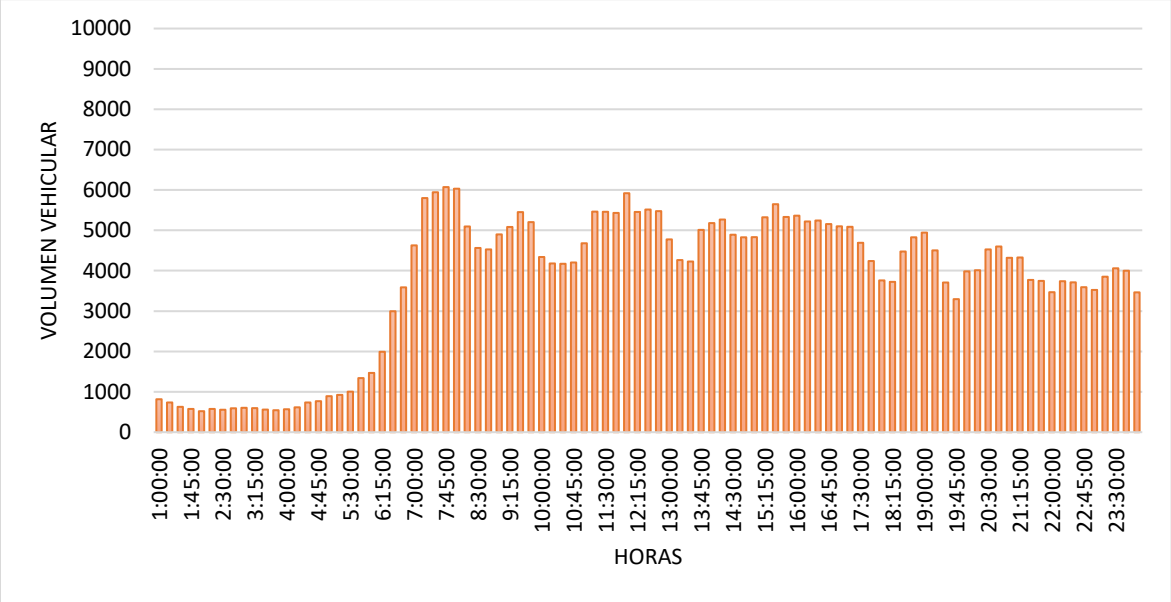


Figura 70

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del jueves en el sentido Norte – Sur

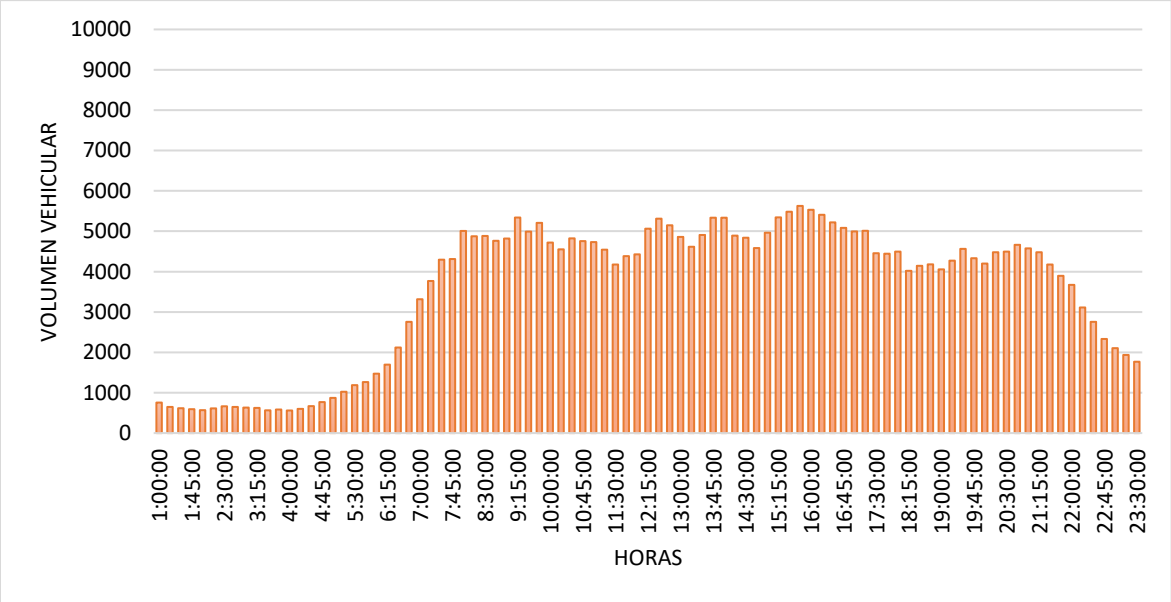


Figura 71

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del viernes en el sentido Norte – Sur

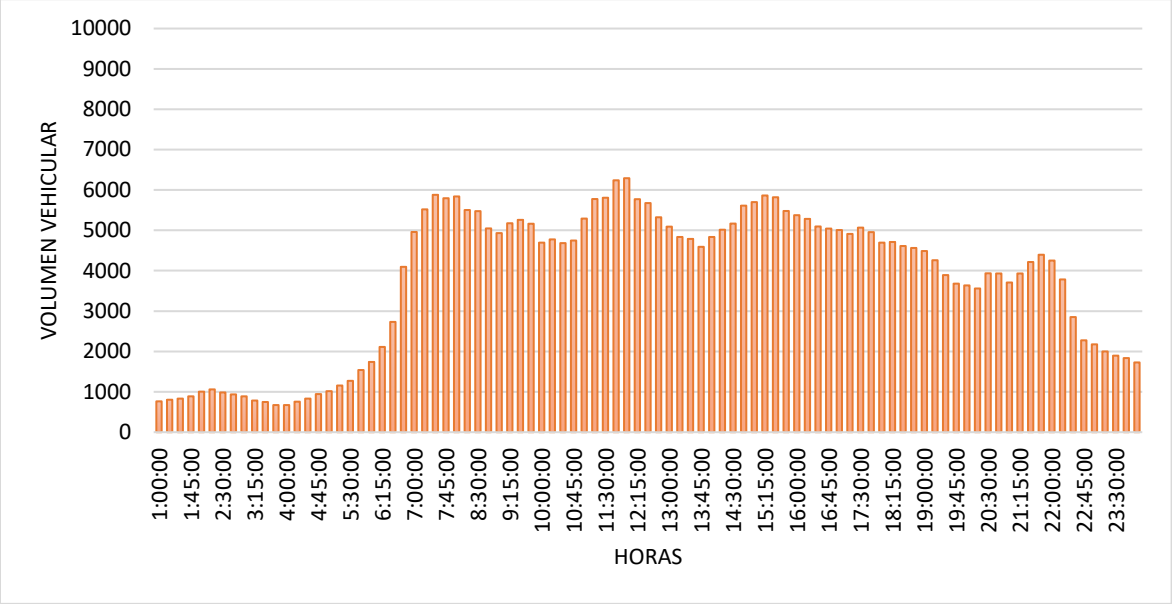


Figura 72

Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del sábado en el sentido Norte - Sur

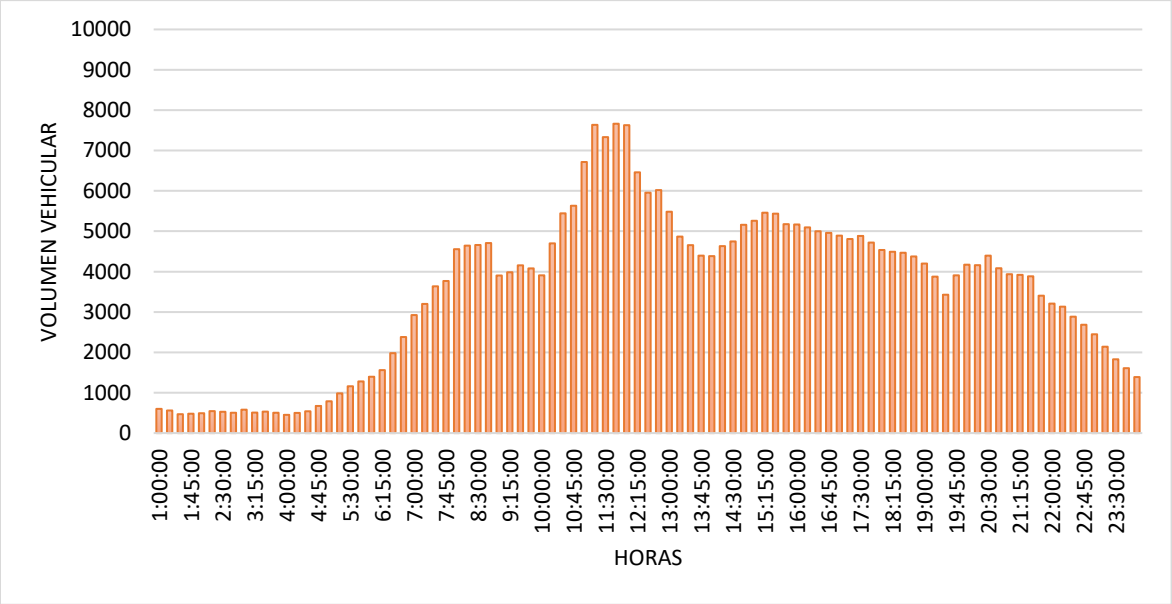


Figura 73

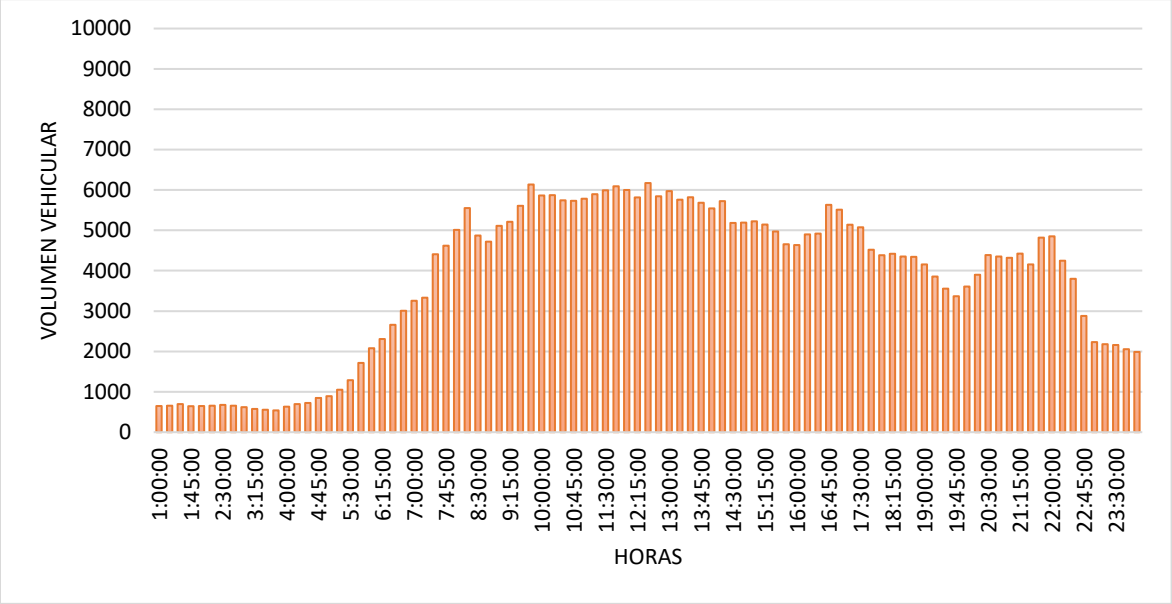



Gráfico del flujo vehicular por horas a lo largo del en el sentido Norte – Sur