

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

ESCUELA DE POSGRADO



**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN TRANSPORTES Y
CONSERVACIÓN VIAL**

**Análisis al problema de congestión vehicular en la intersección
semaforizada de la avenida El Golf y avenida Los Ángeles, Trujillo.**

Área de Investigación:
Ingeniería de Transportes - Transportes

Autor:
Fernández Polo, Jordan Bruno

Jurado evaluador:

Presidente: Vega Benites, Jorge Antonio

Secretario: Vértiz Malabrigo, Manuel Alberto

Vocal: Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

Asesor:
Henriquez Ulloa, Juan Paul Edward
Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3357-2315>

**TRUJILLO – PERÚ
2024**

Fecha de sustentación: 2024/09/16

Análisis al problema de congestión vehicular en la intersección semaforizada de la avenida El Golf y avenida Los Ángeles, Trujillo.

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

6%

2

www.ayuda2.es

Fuente de Internet

3%

3

pt.scribd.com

Fuente de Internet

1%

4

documentos.uru.edu

Fuente de Internet

1%

5

pirhua.udep.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

1library.co

Fuente de Internet

1%

7

www.slideshare.net

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

Declaración de originalidad

Yo, Juan Paul E. Henríquez Ulloa, docente del Programa de Estudio de Postgrado, de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada “Análisis al problema de congestión vehicular en la intersección semaforizada de la avenida El Golf y avenida Los Ángeles, Trujillo.”, autor Bach. Jordan Bruno Fernández Polo, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 12%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el 07 de octubre del 2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Lugar y fecha: Trujillo, 07 de octubre del 2024


Asesor
MS. JUAN PAUL E. HENRÍQUEZ ULLOA
CIP:118101

DNI: 40284306

ORCID: <https://orcid.org/https://orcid.org/0000-0003-3357-2315>


Jordan Bruno Fernández Polo

DNI: 71494830

DEDICATORIA

A Dios, por las bendiciones y la fortaleza que me ha brindado a lo largo de este camino. En los momentos de duda y dificultad, me sostuviste y me guiaste.

A mis padres, quienes son mi fuente constante de apoyo, amor y motivación. Su fe en mí y sus sacrificios han sido el pilar de cada logro alcanzado. Este esfuerzo es tanto suyo como mío, y cada éxito es un reflejo de su inquebrantable apoyo. Gracias por estar siempre a mi lado y por inspirarme a seguir adelante.

Al Ing. Paul Henríquez, por tu invaluable apoyo y guía a lo largo de este camino. Tu conocimiento, paciencia y consejos han sido fundamentales en la realización de esta tesis. No solo eres un mentor, sino también un amigo en el quien siempre puedo confiar. Gracias por creer en mí.

A Joselyn Fernández, por tu apoyo incondicional y por estar siempre a mi lado en los momentos más difíciles de este proceso. Tu apoyo, tus palabras de aliento y tu confianza en mí han sido un pilar fundamental para lograr este objetivo. Esta tesis también es fruto de tu compañía y apoyo constante.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por ser la fuente de fortaleza, guía y sabiduría en cada etapa de mi vida. Gracias por concederme la salud, la perseverancia y la claridad mental necesarias para culminar este proyecto.

A mis padres, con quienes comparto este logro. Gracias por su amor incondicional, por ser mi apoyo en los momentos difíciles y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación.

A mi asesor y amigo, agradezco profundamente tu guía, paciencia y compromiso durante todo este proceso. Valoro no solo tu experiencia académica, sino también la amistad que hemos forjado a lo largo de este camino.

Al Ing. Jorge Vega, quiero expresar mi más profundo agradecimiento no solo por su guía y orientación, sino también por la confianza depositada en mí durante este proceso. Su apoyo constante, su fe en mis capacidades y su disposición para brindarme el tiempo y los recursos necesarios, fueron clave para superar los desafíos que se presentaron en el camino.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
II.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.	ANTECEDENTES.....	5
2.2.	MARCO TEÓRICO.....	8
2.2.1.	Transito.....	8
2.2.2.	Tipos de vías.....	8
2.2.2.1.	Vías expresas.....	8
2.2.2.2.	Vías arteriales.....	8
2.2.2.3.	Vías colectoras.....	9
2.2.2.4.	Vías locales.....	9
2.2.3.	Volumen vehicular.....	10
2.2.3.1.	Volumen (Q).....	10
2.2.3.2.	Tasa de flujo (q).....	10
2.2.3.3.	Volúmenes absolutos y totales.....	11
2.2.3.4.	Volúmenes de Tránsito Promedio Diario (TPD).....	11
2.2.3.5.	Clasificación de los conteos.....	12
2.2.3.6.	Métodos de conteo.....	13
2.2.3.7.	Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda (FHMD)	14
2.2.4.	Velocidades.....	14
2.2.5.	Flujo vehicular.....	15
2.2.6.	Congestión vial.....	15
2.2.6.1.	Significado analítico de la congestión.....	15

2.2.6.2.	Elementos de un sistema de filas de espera.....	18
2.2.6.3.	Análisis determinístico del congestionamiento.....	19
2.2.6.4.	Análisis de intersecciones reguladas con semáforos de régimen D/D/1	20
2.2.7.	Niveles de servicio.....	20
2.3.	MARCO CONCEPTUAL.....	23
III.	METODOLOGÍA.....	24
3.1.	POBLACIÓN.....	24
3.2.	MUESTRA.....	24
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	25
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	26
3.5.	PROCEDIMIENTOS.....	26
3.6.	DISEÑO DE CONTRASTACIÓN.....	27
3.7.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	27
3.8.	CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	28
IV.	RESULTADOS.....	29
4.1.	VOLÚMENES VEHICULARES.....	29
4.1.1.	Volúmenes vehiculares acceso Oeste.....	29
4.1.2.	Volúmenes vehiculares acceso Norte.....	32
4.1.3.	Volúmenes vehiculares acceso Este.....	35
4.1.4.	Volúmenes vehiculares acceso Sur.....	38
4.2.	VOLUMEN HORARIO DE MÁXIMA DEMANDA.....	41
4.2.1.	Volumen horario de máxima demanda acceso Oeste.....	41
4.2.2.	Volumen horario de máxima demanda acceso Norte.....	42
4.2.3.	Volumen horario de máxima demanda acceso Este.....	43

4.2.4.	Volumen horario de máxima demanda acceso Sur.....	44
4.3.	VOLUMEN DE TRÁNSITO EN LA INTERSECCIÓN.....	45
4.4.	VELOCIDADES EN LAS INTERSECCIONES.....	46
4.5.	FLUJO VEHICULAR DE LAS INTERSECCIONES.....	47
4.5.1.	Flujo vehicular acceso Oeste.....	47
4.5.2.	Flujo vehicular acceso Norte.....	48
4.5.3.	Flujo vehicular acceso Este.....	49
4.5.4.	Flujo vehicular acceso Sur.....	50
4.6.	SEMAFORIZACIÓN EN UNA INTERSECCIÓN.....	51
4.6.1.	Intervalo de cambio de fase.....	52
4.6.2.	Volúmenes mixtos horarios de máxima demanda.....	53
4.6.3.	Carriles y grupo de carriles.....	54
4.6.4.	Ajustes de volúmenes.....	55
4.6.5.	Flujo de saturación.....	56
4.6.6.	Vehículos equivalentes.....	57
4.6.7.	Relación de flujo actual (q) a flujo de saturación (s) por carril.....	57
4.6.8.	Tiempo perdido para las fases.....	57
4.6.9.	Longitud de ciclo óptimo.....	58
4.6.10.	Tiempo de verde efectivo total.....	58
4.6.11.	Reparto de tiempo verde efectivo.....	59
4.6.12.	Reparto de tiempo verde reales.....	59
4.6.13.	Nuevos ciclos semafóricos.....	59
4.7.	CAPACIDAD VIAL.....	61
4.8.	NIVELES DE SERVICIO.....	62

4.9.	PROPUESTA DE MEJORA.....	63
4.9.1.	Intersecciones a desnivel.....	63
4.9.2.	Señalización.....	64
4.9.3.	Implementación de Carriles Exclusivos para Giros a la Derecha.....	64
4.9.4.	Paso a desnivel.....	65
V.	DISCUSIÓN.....	67
VI.	CONCLUSIONES.....	72
VII.	RECOMENDACIONES.....	76
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
IX.	ANEXOS.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Niveles de servicio para segmentos básicos de autopistas.....	22
Tabla 2: Cuadro de operacionalización de variables.....	25
Tabla 3: Variación horaria del volumen de tránsito mixto acceso Oeste.....	29
Tabla 4: Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.....	31
Tabla 5: Variación horaria del volumen de tránsito mixto acceso Norte.....	32
Tabla 6: Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.....	34
Tabla 7: Variación horaria del volumen de tránsito mixto acceso Este.....	35
Tabla 8: Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.....	37
Tabla 9: Variación horaria del volumen de tránsito mixto acceso Sur.....	38
Tabla 10: Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.....	40
Tabla 11: Volumen horario de máxima demanda acceso Oeste.....	41
Tabla 12: Volumen horario de máxima demanda acceso Norte.....	42
Tabla 13: Volumen horario de máxima demanda acceso Este.....	43
Tabla 14: Volumen horario de máxima demanda acceso Sur.....	44
Tabla 15: Variación del volumen de tránsito.....	46
Tabla 16: Velocidades de recorrido y velocidades de marcha por acceso.....	46
Tabla 17: Flujo vehicular del día crítico del acceso Oeste.....	47
Tabla 18: Flujo vehicular del día crítico del acceso Norte.....	48
Tabla 19: Flujo vehicular del día crítico del acceso Este.....	49
Tabla 20: Flujo vehicular del día crítico del acceso Sur.....	50
Tabla 21: Fases actuales de semáforo.....	51
Tabla 22: Fases actuales de semáforo.....	52
Tabla 23: Volumen horario de máxima demanda.....	53

Tabla 24: Carriles y grupo de carriles.....	54
Tabla 25: Ajustes de volúmenes.....	55
Tabla 26: Ajustes de volúmenes.....	56
Tabla 27: Vehículos equivalentes.....	57
Tabla 28: Relación flujo actual (q) a flujo de saturación (s).....	57
Tabla 29: Tiempo perdido para 3 fases.....	58
Tabla 30: Longitud de ciclo óptimo.....	58
Tabla 31: Reparto de tiempo verde efectivo.....	59
Tabla 32: Reparto de tiempo verde reales.....	59
Tabla 33: Grupo de carril crítico.....	61
Tabla 34: Nivel de servicio de la intersección.....	62
Tabla 35: Criterio general de diseño según capacidad por carril.....	63
Tabla 36: Cuadro resumen de resultados capacidad y niveles de servicio.....	70
Tabla 37: Tiempos semafóricos.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Significado de la congestión.....	17
Figura 2: Sistema de filas de espera.....	18
Figura 3: Variación horaria del volumen de tránsito total.....	30
Figura 4: Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.....	31
Figura 5: Variación horaria del volumen de tránsito total.....	33
Figura 6: Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.....	34
Figura 7: Variación horaria del volumen de tránsito total.....	36
Figura 8: Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.....	37
Figura 9: Variación horaria del volumen de tránsito total.....	39
Figura 10: Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.....	40
Figura 11: Variación de tránsito en la hora de máxima demanda.....	41
Figura 12: Variación de tránsito en la hora de máxima demanda.....	42
Figura 13: Variación de tránsito en la hora de máxima demanda.....	43
Figura 14: Variación de tránsito en la hora de máxima demanda.....	44
Figura 15: Volúmenes de tránsito direccionales.....	45
Figura 16: Flujo Vehicular acceso Oeste.....	47
Figura 17: Flujo Vehicular acceso Norte.....	48
Figura 18: Flujo Vehicular acceso Sur.....	49
Figura 19: Flujo Vehicular acceso Este.....	50
Figura 20: Fases actuales de semáforo.....	51
Figura 21: Nuevos ciclos semafóricos.....	60
Figura 22: Detalle de carril exclusivo con giro hacia la derecha.....	65

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo analizar el problema de congestión vehicular en la intersección semaforizada de la avenida El Golf y avenida Los Ángeles, ubicada en la ciudad de Trujillo, Perú. Esta intersección es un punto clave para el tránsito urbano debido al alto flujo vehicular que conecta diversas zonas residenciales y comerciales. La investigación se centra en identificar las causas principales del congestionamiento, como el incremento del parque automotor, el diseño geométrico ineficiente, y la programación inadecuada de los ciclos semafóricos.

Para el análisis, se emplearon técnicas de conteo vehicular, mediciones de tiempos de demora y observación directa de los patrones de tráfico en las horas punta. Entre las propuestas evaluadas, se consideran la optimización de los tiempos de semáforos, la implementación de carriles exclusivos para giros, y la posible reconfiguración de la intersección.

Los resultados muestran que una mejora en la sincronización semafórica podría reducir significativamente los tiempos de espera, mejorando el nivel de servicio de la intersección. Además, se recomienda la implementación de medidas complementarias como la educación vial y el fomento del uso de transporte público. La investigación concluye con una serie de recomendaciones para las autoridades locales con el fin de mitigar el congestionamiento y mejorar la fluidez vehicular en la zona.

Palabras clave: Congestión vehicular, intersección semaforizada, optimización del tráfico, sincronización semafórica.

ABSTRACT

The present study aims to analyze the problem of traffic congestion at the signalized intersection of El Golf Avenue and Los Ángeles Avenue, located in the city of Trujillo, Peru. This intersection is a key point for urban transit due to the high vehicle flow connecting various residential and commercial areas. The research focuses on identifying the main causes of congestion, such as the increase in the number of vehicles, inefficient geometric design, and inadequate programming of traffic light cycles.

For the analysis, vehicle counting techniques, delay time measurements, and direct observation of traffic patterns during peak hours were employed. Among the evaluated proposals are the optimization of traffic light timings, the implementation of exclusive turning lanes, and the possible reconfiguration of the intersection.

The results show that improving traffic light synchronization could significantly reduce waiting times, thus enhancing the level of service at the intersection. Additionally, complementary measures such as traffic education and the promotion of public transportation use are recommended. The study concludes with a series of recommendations for local authorities to mitigate congestion and improve traffic flow in the area.

Keywords: Traffic congestion, signalized intersection, traffic optimization, traffic light synchronization.

I. INTRODUCCIÓN

Alrededor de todo el mundo, muchas ciudades donde se concentra gran cantidad de habitantes, se enfrentan a problemas de congestión vehicular, demoras, accidentes y problemas ambientales. La mala planificación de las vías urbanas y una creciente cantidad de vehículos en el parque automotor acrecientan estos problemas. Según Pérez et al. (2016), “El congestionamiento tráfico representa en la actualidad un gran reto a resolver debido al número de usuarios cada vez mayor que necesitan transportarse hacia las grandes ciudades para realizar sus actividades económicas, sociales, culturales y de cualquier índole.” (p. 2). Esto nos indica que uno de los factores también es el crecimiento poblacional.

Una de las áreas diseñadas para que los vehículos puedan circular en diferentes sentidos son las intersecciones viales, estas están sometidas a diferentes elementos de control de tránsito, como, por ejemplo, semáforos, señalizaciones verticales y horizontales, entre otros. Según Porras et al. (2011). “En el mundo existen novedosas soluciones para disminuir los problemas que se presentan en las intersecciones viales, pero muchas de estas soluciones representan grandes inversiones, convirtiéndose en alternativas inalcanzables para el caso de países en vía de desarrollo.” (p. 12). Las intersecciones suelen ser puntos críticos que contribuyen a la congestión vial, además, de ser difíciles de dar una solución económica y eficiente.

En América, específicamente en las grandes ciudades, la congestión representa grandes costos directos e indirectos para los habitantes y gobiernos locales. Según el Banco Inter Americano (2021). “El costo directo de la

congestión es el tiempo perdido en transitar una vía congestionada, tiempo que podría ser invertido en otras actividades.” (p. 19). La congestión impide el desarrollo de las ciudades de una manera sustentable y sostenible, haciendo perder tiempo a los habitantes y a su vez contribuyendo a la contaminación ambiental.

En Latinoamérica, el sistema de transporte en las ciudades se ha convertido en uno de los sectores más esenciales debido a la necesidad diaria de las personas de desplazarse para cumplir con sus responsabilidades laborales y otras actividades cotidianas. El aumento constante en la demanda de movilidad ha llevado al incremento en el número de vehículos en circulación. Cuando esta cantidad supera la capacidad de la infraestructura vial disponible, se presenta uno de los problemas más comunes que enfrentamos: la congestión vehicular.

Trujillo no es ajeno a lo que existe en la metrópolis, ya que como toda ciudad en crecimiento comienza a evidenciarse los problemas viales por una elevada demanda del flujo vehicular que pone en desequilibrio al servicio vial existente, una de ellas es la intersección de la avenida Los Ángeles con la avenida El Golf, en la cual la señalización vertical y horizontal entre ambos cruces viales no es la proyectada a la demanda existente, los estrechos tramos de los ingresos Norte, Sur, Este y Oeste reciben un flujo moderado que supera la capacidad de su sección. Debido al crecimiento urbano estos tres ingresos han quedado delimitados de esta manera causando congestión, riesgo de accidentes para los transeúntes y los propios conductores.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Ashhad et al. (2020) en su investigación “Análisis del congestionamiento vehicular para el mejoramiento de vía principal en Guayaquil-Ecuador”, se propusieron como objetivo determinar los volúmenes, flujos vehiculares y ciclo semafóricos para resolver el problema de congestionamiento que tiene la ciudad de Guayaquil, para lo cual desarrollaron un conteo vehicular de 8 horas en dos diferentes años y también analizaron los ciclos semafóricos y luego procesaron los datos. Llegaron a proponer la modificación de los ciclos semafóricos en las horas picos, trazar una vía alterna para el flujo vehicular y como ultima solución a su problemática es modificar el posicionamiento de la estación de la Metrovía. El principal aporte de la investigación es brindar una metodología sobre el análisis de tráfico y la seguridad vial para mitigar las intersecciones que correspondes a esta investigación.

Abata et al. (2022) en su investigación “Análisis del congestionamiento vehicular en diferentes intersecciones en la ciudad de Portoviejo, Ecuador”, se propusieron como objetivos recolectar información de 3 intersecciones de la ciudad de Portoviejo, además, realizar el aforo vehicular de cada intersección considerando vehículos motorizados livianos, para lo cual desarrollaron el conteo vehicular en un horario comprendido entre 7:00 a.m. y 19:00 p.m. y luego el procesamiento de los datos obtenidos en campo, los resultados que

determinó el análisis fue que existe una frecuencia muy elevada de los vehículos livianos dando como propuestas de solución una implementación de campañas para una conducción sustentable y un cambio de perspectiva hacia una movilidad urbana sustentable. El principal aporte de la investigación es la realización de un aforo con mayor duración para identificar horas con mayor volumen vehicular y además tomar en cuenta el transporte liviano.

Silvera, M., (2020) “Evaluación operacional de una red compuesta por 5 intersecciones a través del HCM, Synchro y Vissim” este trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento de las intersecciones mediante programas que nos proporcionan una gran ayuda al momento de analizar los datos, para lo cual desarrolló un aforo vehicular de 14 horas en 2 días, también se realizó un aforo peatonal en intervalos de 15 min y luego se procesaron los datos para la determinación de las velocidades de marcha. La investigación concluyó en diferentes análisis de los diversos programas que se utilizaron en el trabajo de investigación. El principal aporte al trabajo de investigación es a utilizar los diferentes programas para poder realizar un mejor análisis y así poder brindar una propuesta óptima al problema.

Merino, M., (2022) “Planeamiento y desarrollo vial entre las avenidas Metropolitana I y II de la ciudad de Trujillo en el año 2019” esta investigación tiene como objetivos identificar los mecanismos de falla, identificar las señales verticales y horizontales y por último la

semaforización en la zona de estudio, para lo cual desarrolló un análisis de los lugares que servirán como estación para los aforadores, además determinar el volumen, flujo, densidad, velocidad, capacidad y niveles de servicio, para procesar los datos en el gabinete mediante la ayuda de hojas de cálculo y el método HCM 2010. La investigación dio como propuesta que se modifique la geometría de las vías además de mejorar las señalizaciones. El principal aporte al trabajo de investigación es utilizar metodologías extranjeras como el HCM 2010 para brindar una mejor propuesta de solución al congestionamiento vehicular.

Frisancho, F., (2021) “Evaluación del nivel de servicio en flujos vehiculares del óvalo Cuzco-Tacna 2019 y simulación de paso a desnivel sentido N-S utilizando Synchro V.8” esta investigación tiene como objetivos determinar el grado de saturación vehicular y los niveles de servicios que corresponde a las intersecciones que conectan con el óvalo Cuzco, para lo cual desarrolló el conteo vehicular de los flujos correspondientes cada 15 min durante 3 días (dos días laborables y un día no laborable). La investigación nos dio como conclusión que los niveles de servicio presentan una clasificación F. El principal aporte al trabajo de investigación es la importancia de determinar qué nivel de servicio tiene la intersección de esta investigación.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Transito

Se refiere al flujo de vehículos, personas y bienes a través de una red de transporte, que incluye carreteras, calles y vías peatonales. Este término abarca no solo el movimiento físico, sino también el estudio y gestión de este flujo para mejorar la eficiencia y seguridad en los desplazamientos. Además, incluye el diseño y planificación de infraestructuras viales, así como la implementación de señales y sistemas de control del tráfico para reducir la congestión y los accidentes (González, 2022).

2.2.2. Tipos de vías

2.2.2.1. Vías expresas

Una vía expresa se define como una carretera diseñada para permitir un flujo continuo y rápido de tráfico, sin intersecciones a nivel ni accesos directos a propiedades adyacentes. Este tipo de vía se caracteriza por carriles separados para cada dirección de tráfico, intersecciones a desnivel, y restricciones estrictas de entrada y salida para minimizar la interferencia con el flujo vehicular (López & Martínez, 2021).

2.2.2.2. Vías arteriales

Las vías arteriales son carreteras principales diseñadas para facilitar el movimiento eficiente de grandes volúmenes de tráfico a

lo largo de áreas urbanas. Estas vías conectan diferentes zonas de la ciudad, funcionando como ejes principales que distribuyen el tráfico desde vías locales hacia autopistas o vías expresas. Su diseño incluye múltiples carriles y señales de tráfico controladas para manejar altos niveles de tránsito, y generalmente priorizan la velocidad y capacidad sobre el acceso directo a propiedades (Pérez & Gómez, 2020).

2.2.2.3. Vías colectoras

Las vías colectoras son carreteras que tienen la función de canalizar el tráfico desde las vías locales hacia las vías arteriales. Estas vías sirven como intermediarias en la jerarquía vial, facilitando el acceso desde áreas residenciales o comerciales a las vías de mayor capacidad. Su diseño está orientado a manejar un volumen moderado de tráfico, con una velocidad de circulación relativamente baja, y permiten tanto el acceso a propiedades adyacentes como la distribución eficiente del tránsito hacia rutas principales (Ruiz & Hernández, 2019).

2.2.2.4. Vías locales

Las vías locales se caracterizan por ser carreteras de menor jerarquía en la red vial, diseñadas para brindar acceso directo a propiedades residenciales, comerciales o industriales. Estas vías soportan volúmenes de tráfico bajos y operan a velocidades

reducidas, con un enfoque en la seguridad y accesibilidad. Su principal función es conectar el tráfico desde propiedades individuales hacia vías colectoras, con un diseño sencillo y un control de tráfico mínimo (Fernández & Molina, 2022).

2.2.3. Volumen vehicular

2.2.3.1. Volumen (Q)

El volumen de tráfico es una medida fundamental en la ingeniería de tránsito, utilizada para cuantificar el flujo de vehículos o personas que transitan a través de un punto específico en una red vial durante un período de tiempo determinado. Se determina por la siguiente fórmula:

$$= \frac{N}{T}$$

Donde:

Q = volumen.

N = Número de vehículos o personas.

T = unidad de tiempo.

2.2.3.2. Tasa de flujo (q)

La tasa de flujo, similar al volumen de tráfico, es fundamental en la selección de componentes para proyectos de infraestructura vial. Se define como la cantidad de vehículos o personas que intentan atravesar una sección de la vía en un tiempo

específico. Este parámetro es crucial para dimensionar la capacidad de la infraestructura y garantizar un diseño eficiente y libre de congestiones.

2.2.3.3. Volúmenes absolutos y totales

Se definen de la siguiente manera:

- **Tránsito Anual (TA):** Representa el número total de vehículos que transitan por un punto específico a lo largo de un año completo.
- **Tránsito Semanal (TS):** Indica el número total de vehículos que pasan por un punto determinado durante una semana.
- **Tránsito Diario (TD):** Es el número total de vehículos que transitan por un punto específico en un día.
- **Tránsito Horario (TH):** Mide el número total de vehículos que pasan por un punto en el transcurso de una hora.

2.2.3.4. Volúmenes de Tránsito Promedio Diario (TPD)

Es la relación entre el número total de vehículos por un periodo determinado y el número de días del periodo:

- Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

$$= \frac{\quad}{365}$$

- Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS)

$$= \frac{\quad}{7}$$

- Volumen Horario Máximo Anual (VHMA): Es el flujo vehicular por hora que se emplea para establecer las propiedades geométricas de la carretera.
- Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD): Expresa la cantidad máxima de vehículos que pasan por un lugar o tramo de un carril o carretera en un periodo de minutos.
- Volumen Horario de Proyecto (VHP): Indica el flujo vehicular por hora que se emplea para establecer las propiedades geométricas de la carretera.

2.2.3.5. Clasificación de los conteos

- Conteo Direccionales: Consisten en registrar y categorizar los flujos vehiculares según la dirección y sentido del movimiento.
- Conteos de Clasificación: Implican el registro y la categorización de los volúmenes de tráfico según el tipo de vehículo, número de ejes, peso y dimensiones.
- Conteo en Intersecciones: Se centran en registrar los volúmenes de tráfico según el tipo de movimiento, ya sea directo, giros a la derecha o izquierda, así como el tipo de vehículo involucrado.

- **Conteo en Cordones:** Consisten en registrar los volúmenes de tráfico a lo largo del perímetro de una zona específica.
- **Conteo en Barrera o Pantalla:** Implican el registro de los volúmenes de tráfico en cruces de vías, ya sea en intersecciones naturales o creadas por la intervención humana.
- **Conteo de Ocupación vehicular:** Clasificado como un método de registro de campo, se utiliza con el propósito de conocer la cantidad de pasajeros que viajan en diferentes tipos de vehículos.

2.2.3.6. Métodos de conteo

- **Conteo Mecánico:** Los conteos mecánicos se emplean principalmente para medir de manera continua el flujo vehicular, siendo especialmente útiles en estudios de tendencias de tráfico. Estos métodos permiten la recolección automática de datos a lo largo de períodos prolongados, proporcionando una visión precisa y detallada del comportamiento del tránsito en un punto específico (Cal, & Reyes, 2015).
- **Conteo Manual:** Los conteos manuales se adaptan según el objetivo del estudio y pueden realizarse mediante métodos simples, como registros en hojas, o utilizando dispositivos electrónicos de conteo. En situaciones de alto volumen de

tráfico, es necesario involucrar a más de dos personas para garantizar la precisión de los datos recolectados, debido a la complejidad y rapidez del flujo vehicular (Cal, & Reyes, 2015).

2.2.3.7. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda (FHMD)

Un volumen horario de máxima demanda es un marcador que refleja las particularidades del flujo vehicular en una carretera, intersección o calle durante los periodos de mayor intensidad de tráfico.

2.2.4. Velocidades

La velocidad es el vínculo existente entre el tramo a recorrer y el tiempo que se tarda en el recorrido del mismo expresado en km/h. La fórmula por la cual se expresa la velocidad es la siguiente. (Cal, et al, 2007).

= -

Donde:

v = velocidad

d = distancia recorrida

t = tiempo de recorrido

Existen diferentes maneras a la velocidad tomando en cuenta diferentes criterios, como los mencionados a continuación:

- Velocidad media temporal
- Velocidad media espacial
- Velocidad de recorrido
- Velocidad de marcha

2.2.5. Flujo vehicular

El análisis del flujo vehicular es fundamental para comprender las características y el comportamiento del tránsito en las vías, proporcionando información valiosa sobre cómo se desplazan los vehículos y permitiendo evaluar la eficiencia de las operaciones de tráfico. Un aspecto clave que se deriva de este análisis es la creación de modelos tanto microscópicos como macroscópicos, que integran diversos componentes del flujo vehicular, tales como la velocidad, la densidad y el volumen, entre otros (Cal et al., 2007). Estos modelos son esenciales para el diseño y optimización de infraestructuras viales, así como para la mejora de la gestión del tráfico.

2.2.6. Congestión vial

2.2.6.1. Significado analítico de la congestión

La capacidad de un sistema se refiere al número máximo de entidades que puede procesar en una determinada unidad de tiempo. La congestión ocurre debido a la capacidad limitada del sistema y a la

variabilidad aleatoria tanto de la demanda como del proceso en sí (Cal & Cárdenas, 2018).

En un sistema con una capacidad de μ entidades por unidad de tiempo, también conocida como tasa de servicio, esta capacidad representa la tasa límite. El inverso de esta tasa indica el intervalo máximo. En este marco, cada entidad necesita un tiempo promedio t_p para ser procesada, lo cual se expresa de la siguiente manera:

$$p = \frac{1}{\mu}$$

Cuando las entidades arriban a una tasa de λ por unidad de tiempo, el tiempo total de procesamiento t_T por entidad se define de la siguiente forma:

$$t_T = \begin{cases} p, & \lambda \leq \mu \\ \infty, & \lambda > \mu \end{cases}$$

Cuando la tasa de llegada λ supera la capacidad μ , pueden surgir diferentes situaciones:

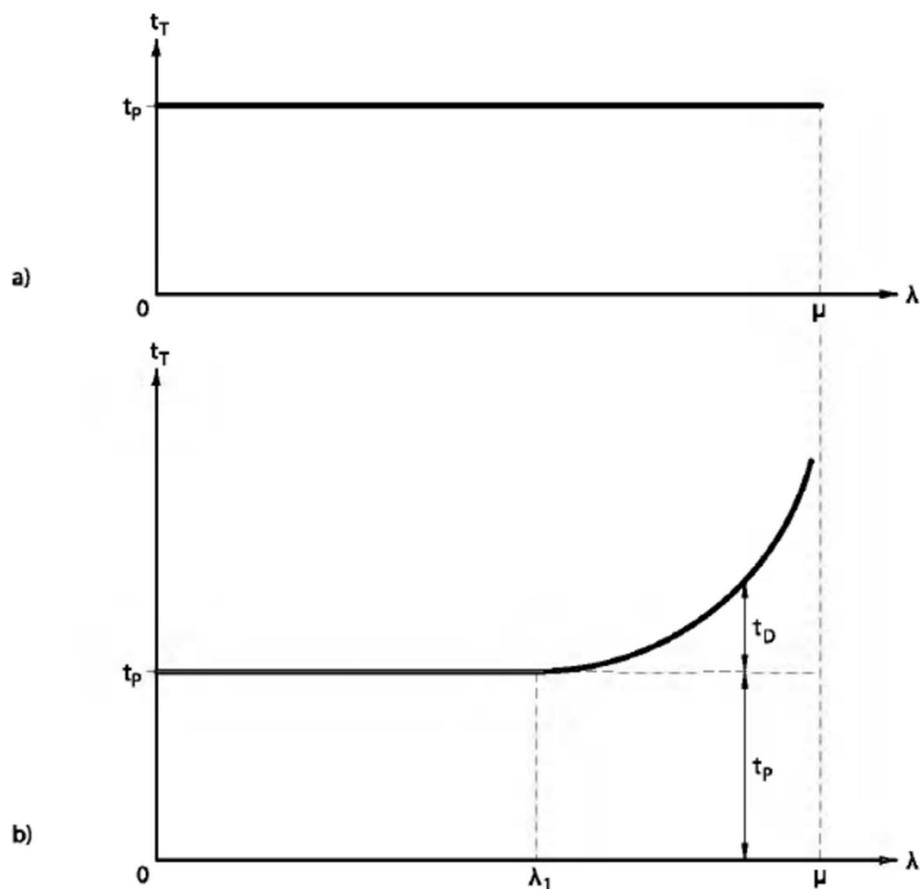
- El sistema puede colapsar, lo que resultaría en una congestión completa sin procesamiento de unidades.
- Se podría formar una cola que crece de manera indefinida.
- En condiciones no estacionarias, la cola podría disiparse solo si λ supera a μ por un periodo limitado.

Si tanto λ como μ son variables aleatorias, es posible que se generen colas, incluso cuando λ sea menor que μ . Según esto, en cualquier condición, sea estacionaria o no, el tiempo total de procesamiento t_T por unidad se determina como la suma del tiempo promedio de procesamiento t_p y el tiempo de espera t_D , expresándose así:

$$T = p + D$$

Figura 1

Significado de la congestión.

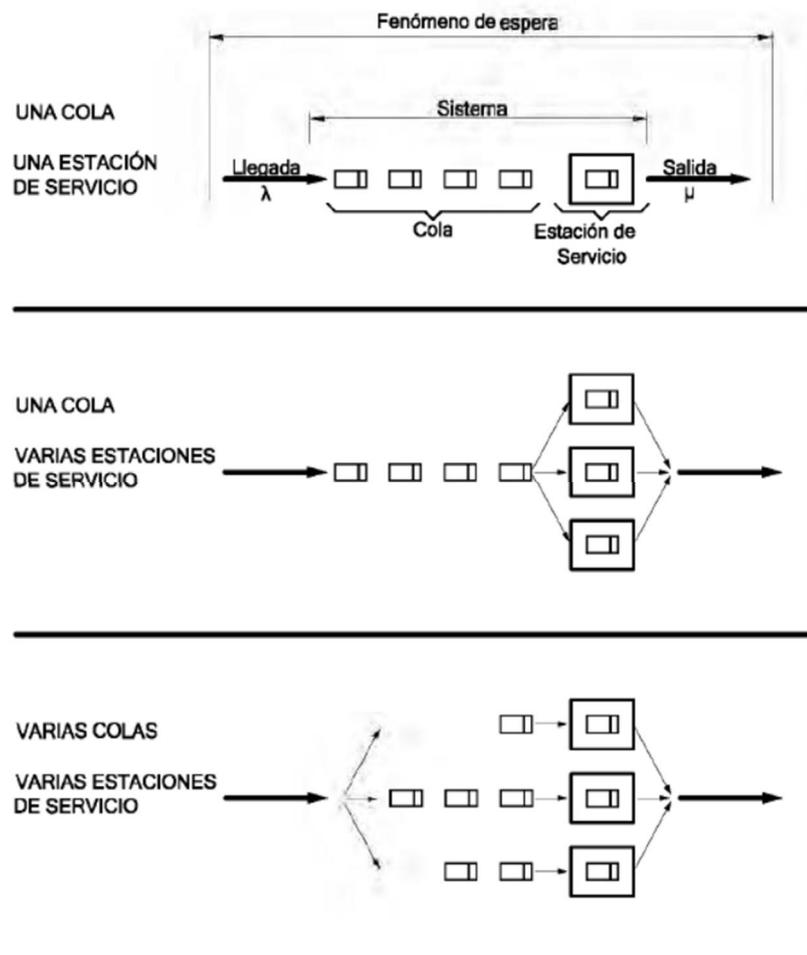


Nota. Representación gráfica del significado de congestión.

2.2.6.2. Elementos de un sistema de filas de espera

La formación de una cola ocurre cuando los usuarios, como los vehículos, llegan a diferentes puntos de servicio, tales como estacionamientos, intersecciones controladas o no por semáforos, zonas de "cuello de botella", accesos a autopistas o carriles dedicados a giros. Cada llegada requiere un tiempo determinado para recibir el servicio, que puede ser prestado por una o varias estaciones.

Figura 2
Sistemas de filas de espera.



Nota. Representación gráfica de filas de espera.

La dinámica de una cola y los modelos que la describen dependen de una representación precisa de los elementos que la componen. Estos incluyen:

- **Llegadas (Demanda) o Características de Entrada:** Las llegadas pueden medirse en términos de tasas de flujo (vehículos por hora) o intervalos de tiempo (segundos por vehículo). Estas llegadas pueden seguir patrones deterministas o probabilísticos.
- **Servicios (Capacidad) o Características de Salida:** Al igual que las llegadas, las salidas pueden expresarse mediante tasas de flujo o intervalos de tiempo, y sus distribuciones pueden ser tanto deterministas como probabilísticas.
- **Procedimiento de Servicio o Disciplina de la Cola:** En la mayoría de los sistemas de tráfico, el proceso de servicio sigue la disciplina de "primero en llegar, primero en salir".

2.2.6.3. Análisis determinístico del congestionamiento

El enfoque determinístico implica calcular con exactitud el valor de una variable, estableciendo una relación directa con los valores específicos de otras variables. En este contexto, para un conjunto determinado de valores de entrada, solo se obtendrá un único resultado para la función objetivo (Cal & Cárdenas, 2018).

2.2.6.4. Análisis de intersecciones reguladas con semáforos de régimen D/D/1

Una intersección controlada por semáforos es un ejemplo clásico de un fenómeno de espera, ya que la luz roja provoca inevitablemente la formación de colas de vehículos. Para facilitar su comprensión, el siguiente ejemplo describe gráficamente y de manera analítica los elementos que conforman este fenómeno, considerando condiciones de tráfico no saturadas, donde las llegadas en cada ciclo son menores que la capacidad del acceso. En este escenario, los vehículos en la cola no esperan más de un ciclo para ser atendidos por el semáforo o el punto de servicio (Cal & Cárdenas, 2018).

La capacidad de un acceso en una intersección regulada por semáforos se mide en función del flujo de saturación (s). Cuando la señal cambia a verde, el flujo de vehículos que atraviesa la línea de ALTO aumenta rápidamente hasta alcanzar la tasa equivalente al flujo de saturación, y se mantiene constante hasta que la cola desaparece o el tiempo de luz verde termina. El flujo de saturación define la tasa máxima de salida posible cuando hay colas presentes.

2.2.7. Niveles de servicio

Las condiciones utilizadas para evaluar los niveles de servicio en los tramos clave de autopistas son las siguientes:

- **Nivel de servicio A:** Representa condiciones de flujo libre, donde los conductores prácticamente no sienten la presencia de otros vehículos. Los usuarios disfrutan de una alta libertad para seleccionar velocidades y realizar maniobras, lo que proporciona un nivel óptimo de comodidad y conveniencia.
- **Nivel de servicio B:** Aunque aún se considera flujo libre, la presencia de otros vehículos comienza a ser perceptible. Los conductores mantienen gran parte de su libertad para elegir la velocidad, aunque la capacidad para maniobrar se reduce ligeramente. La comodidad y conveniencia disminuyen ligeramente debido a la interacción con otros vehículos.
- **Nivel de servicio C:** Se clasifica dentro del rango de flujo estable, donde las interacciones entre vehículos empiezan a afectar de manera significativa la operación individual. La elección de velocidad y la libertad de maniobra se ven limitadas, resultando en una reducción notable en la comodidad y conveniencia.
- **Nivel de servicio D:** Describe una operación de alta densidad, pero aún estable. La velocidad y la libertad de maniobra están considerablemente restringidas, y el nivel de comodidad es bajo. Pequeñas variaciones en el flujo pueden generar problemas e incluso causar la formación de colas.
- **Nivel de servicio E:** Operación cercana o al límite de la capacidad. La velocidad se mantiene baja y uniforme, y la

libertad de maniobra es extremadamente limitada. Los niveles de comodidad son mínimos, lo que genera frustración entre los conductores. El tráfico es inestable, con ligeros aumentos en el flujo que pueden causar colapsos.

En los segmentos básicos de autopista, se utilizan tres indicadores clave de eficiencia: la densidad (vehículos ligeros por kilómetro por carril), la velocidad promedio de los vehículos ligeros y la relación entre volumen y capacidad (v/c). De estas, la densidad es el principal indicador debido a su aplicabilidad práctica.

Tabla 1

Niveles de servicio para segmentos básicos de autopistas.

Nivel de Servicio	Densidad (automóviles/km/carril)
A	≤ 7
B	$< 7 - 11$
C	$< 11 - 16$
D	$< 16 - 22$
E	$< 22 - 28$
F	≥ 28

Nota. Para los Niveles de servicio en vía urbana, la densidad es el indicador principal.

2.3. Marco Conceptual

- *Diseño Vial*: Los ingenieros de tránsito intervienen en el diseño de carreteras, calles y sistemas de transporte público, teniendo en cuenta aspectos como la geometría de las vías, la capacidad, la señalización y las intersecciones, con el fin de asegurar un flujo de tráfico seguro y eficiente (Fernández & Valenzuela, 2004).
- *Fase del semáforo*: Se identifica mediante los colores verde, amarillo y rojo, proporcionando instrucciones a los conductores sobre el movimiento de sus vehículos (Garber & Hoel, 2004).
- *Gestión del Tráfico*: Consiste en la planificación y diseño de infraestructuras, tales como carreteras y sistemas de transporte público, con el objetivo de asegurar un flujo vehicular y peatonal eficiente y seguro (Fernández & Valenzuela, 2004).
- *Niveles de Servicio*: Criterios que evalúan y miden la calidad del servicio de una carretera, generalmente establecidos como límites aceptables para la evolución de su estado superficial, funcional, estructural y de seguridad. Estos indicadores son específicos para cada vía y se adaptan según factores técnicos y económicos, dentro de un marco general que busca satisfacer al usuario en términos de comodidad, oportunidad, seguridad y economía, además de garantizar la rentabilidad de los recursos disponibles.
- *Ovalo o rotonda*: Intersección configurada como un anillo (ya sea circular u ovalado), al cual se accede o desde el cual se desprenden tramos de carretera, con un único sentido de circulación en el anillo.

- *Paso a desnivel*: Intersección entre dos o más carreteras o líneas férreas, o la combinación de ambas, que se lleva a cabo en distintos niveles. También se denomina BYPASS.
- *Planificación del Transporte Público*: Apoyan en el diseño y planificación de sistemas de transporte público, como autobuses y trenes, con el objetivo de promover una movilidad sostenible y disminuir la dependencia del transporte privado (Fernández & Valenzuela, 2004).
- *Seguridad Vial*: Conjunto de medidas dirigidas a prevenir o evitar los peligros de accidentes entre los usuarios de las carreteras y disminuir las repercusiones sociales negativas derivadas de los accidentes.
- *Semáforos*: Son dispositivos cuya función principal es regular el tiempo de paso de los vehículos en intersecciones o calles, con el fin de prevenir accidentes y reducir la congestión vehicular (Garber & Hoel, 2004).

III. METODOLOGÍA

3.1. Población

Los vehículos que circulan por la intersección de las Av. El Golf y Av. Los Ángeles

3.2. Muestra

Vehículos que circulan por la Av. El Golf y Av. Los Ángeles durante las 24 horas diarias de los 7 días de la semana de aforo.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 2

Cuadro de operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Subvariables	Indicadores	Instrumentos
Congestionamiento Vehicular	Problema vial que se desarrolla debido al alto índice de usuarios vehiculares en una vía, generando variaciones de flujo vehicular.	Se realizará un análisis en la intersección de la Avenida Villareal con la Prolongación Unión, tomando en cuenta la demanda vehicular.	Transitabilidad vehicular	Volumen vehicular (veh)	Ficha de recolección de datos.
			Velocidad	Velocidad de marcha (Km/h)	
				Velocidad de recorrido (Km/h)	Ficha de resultados de Excel.
			Tiempos semafóricos	Tiempo de cada fase (s)	Cronometraje.
			Flujo vehicular	Densidad (veh/ Km)	Lista de cotejos
			Propuesta de mejora vial	Bajo costo (S/.)	
				Medio costo (S/.)	

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se aplicará la técnica de la observación directa in situ para lo siguiente:

- Identificación de la intersección con congestión vehicular.
- Instrucción a los aforadores que estarán involucrados en la toma de datos.
- Recolección de los datos en la zona de intervención.
- Con relación a los instrumentos se aplicará los siguientes:
 - Fichas técnicas para el conteo vehicular.
 - Fichas de recolección de datos.
 - Fichas técnicas de resultados.
 - Listas de cotejo.

3.5. Procedimientos

Los procedimientos que se utilizarán en este proyecto son los siguientes.

- Metodología HCM 2010
- Aforos Vehiculares las 24 horas por 7 días.
- Niveles de servicio en función a los datos.
- Análisis de los resultados.
- Propuesta de mejora vial.

3.6. Diseño de contrastación

El tipo de investigación es aplicada – descriptiva. Se busco intersecciones en las cuales se genere congestión vehicular para aplicar estrategias de mejora. Se recopilarán datos para luego ser procesador y dar solución al problema de manera eficiente y sostenible.

La investigación es de campo. Se realizará un conteo vehicular, se utilizarán unas fichas y se capacitará a los aforadores para que el conteo no contenga errores y poder brindar una óptima solución para la problemática de la intersección.

3.7. Procesamiento y análisis de datos

- Analizar las particularidades del problema seleccionado.
- Definir y desarrollar las hipótesis relacionadas con el problema.
- Expresar los supuestos que respaldan las hipótesis y los procesos adoptados.
- Seleccionar apropiadamente los temas y fuentes pertinentes.
- Crear o elegir métodos para recopilar datos.
- Establecer categorías precisas para clasificar los datos, que se ajusten al propósito del estudio y destaquen semejanzas, diferencias y relaciones relevantes.
- Validar las técnicas utilizadas para recolectar datos.
- Llevar a cabo observaciones objetivas y precisas.

- Describir, analizar e interpretar los datos obtenidos de manera clara y precisa.

3.8. Consideraciones éticas

La investigación se llevará a cabo siguiendo las directrices y regulaciones establecidas en el reglamento académico de la escuela de posgrado de la Universidad Privada Antenor Orrego. Se cumplirá con lo establecido en el código de ética del Colegio de Ingenieros del Perú. Además, se acatarán los criterios establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

IV. RESULTADOS

4.1. Volúmenes vehiculares

4.1.1. Volúmenes vehiculares acceso Oeste

Se observa el volumen registrado para cada día en un conteo manual de 24 horas realizado en el acceso oeste, destacándose que el día con mayor volumen es el viernes.

Tabla 3

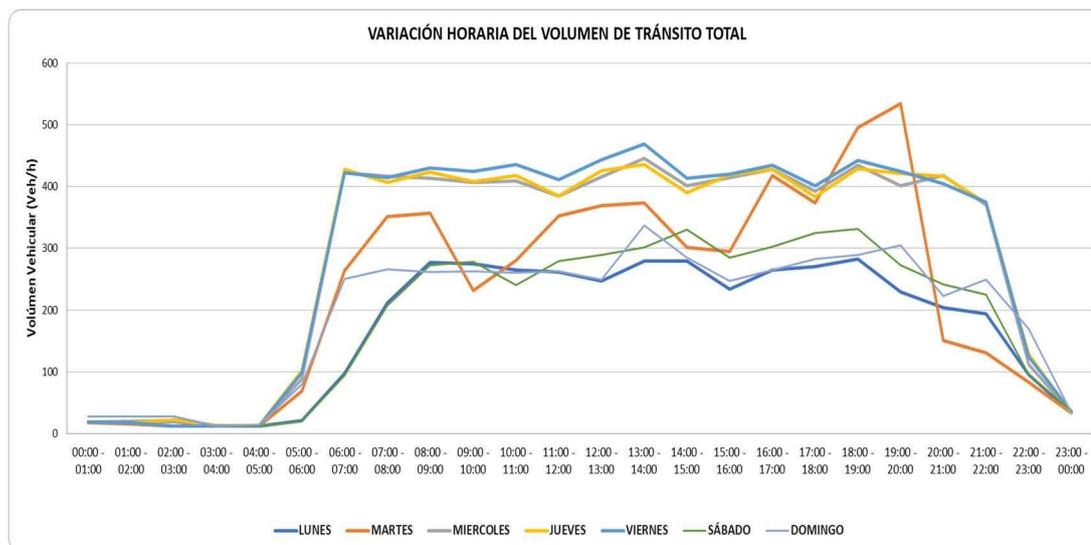
Variación horaria del volumen de tránsito mixto acceso Oeste.

HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
00:00 - 01:00	19	18	19	19	19	28	28
01:00 - 02:00	19	16	20	18	18	28	28
02:00 - 03:00	20	12	21	22	13	28	28
03:00 - 04:00	12	12	12	14	12	12	12
04:00 - 05:00	12	12	13	14	12	12	15
05:00 - 06:00	21	69	89	102	99	20	80
06:00 - 07:00	98	264	422	428	422	94	251
07:00 - 08:00	212	351	417	407	415	207	266
08:00 - 09:00	277	357	413	423	430	273	262
09:00 - 10:00	275	232	407	408	424	278	263
10:00 - 11:00	265	280	409	418	436	241	261
11:00 - 12:00	262	353	385	385	411	279	263
12:00 - 13:00	247	369	416	426	443	289	249
13:00 - 14:00	279	373	445	436	469	302	337
14:00 - 15:00	279	301	401	390	413	330	285
15:00 - 16:00	234	295	414	419	420	285	247
16:00 - 17:00	265	418	428	428	435	303	265
17:00 - 18:00	270	373	392	383	401	325	283
18:00 - 19:00	283	495	435	429	442	332	289
19:00 - 20:00	229	534	401	421	425	273	305
20:00 - 21:00	204	151	418	417	405	242	223
21:00 - 22:00	194	131	370	374	375	225	250
22:00 - 23:00	96	83	112	129	124	96	170
23:00 - 00:00	33	33	33	33	36	37	33
TOTAL	4,105	5,532	6,892	6,943	7,099	4,539	4,693

En la figura N° 3 se observan las variaciones diarias, destacándose que el viernes presenta los volúmenes vehiculares más altos en comparación con los demás días.

Figura 3

Variación horaria del volumen de tránsito total.



La tabla N° 4 se presenta el volumen de tránsito, clasificado según el tipo de vehículo, para cada día de la semana analizada. Para facilitar su interpretación, se eligió utilizar un gráfico circular.

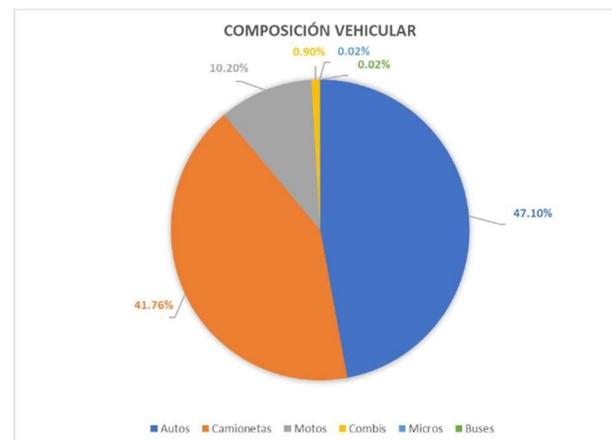
Tabla 4

Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.

TIPOS DE	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	TOTAL	PORCENTAJE
Autos	2,793	2,677	2,109	2,151	2,130	3,241	3,647	18,748	47.10%
Camionetas	580	2,257	4,171	4,203	4,226	591	594	16,622	41.76%
Motos	655	530	595	567	669	634	410	4,060	10.20%
Combis	76	61	15	20	71	72	42	357	0.90%
Micros	1	0	2	2	3	1	0	9	0.02%
Buses	0	7	0	0	0	0	0	7	0.02%
TOTAL	4,105	5,532	6,892	6,943	7,099	4,539	4,693	39,803	100%

Figura 4

Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.



4.1.2. Volúmenes vehiculares acceso Norte

Se observa el volumen registrado para cada día en un conteo manual de 24 horas realizado en el acceso norte, destacándose que el día con mayor volumen es el jueves.

Tabla 5

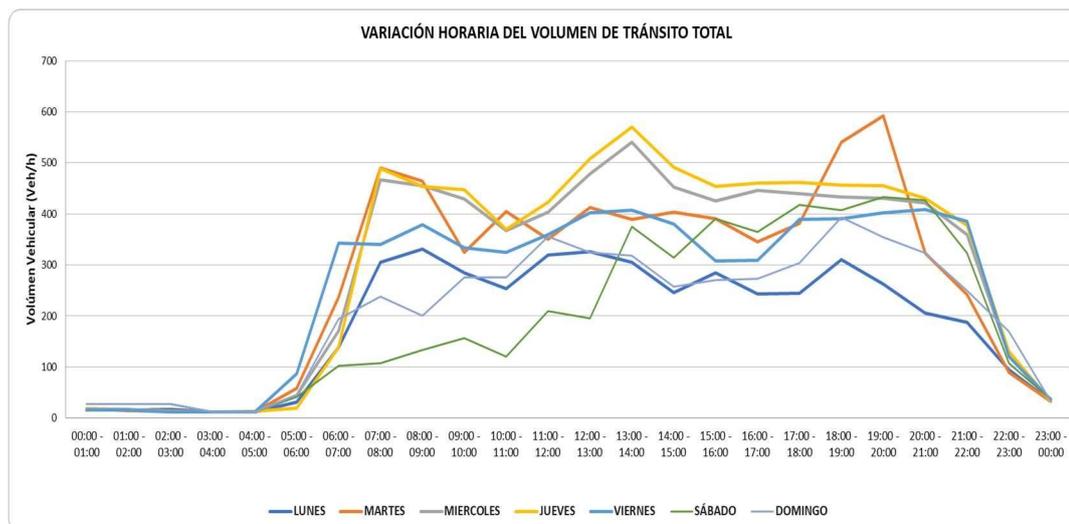
Variación horaria del volumen de tránsito mixto acceso Norte.

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
00:00 - 01:00	16	18	18	17	16	28	28
01:00 - 02:00	16	15	17	16	16	28	28
02:00 - 03:00	17	13	13	13	12	28	28
03:00 - 04:00	12	12	12	12	12	12	12
04:00 - 05:00	12	12	12	13	12	12	12
05:00 - 06:00	31	58	44	20	87	42	46
06:00 - 07:00	138	237	171	138	343	102	194
07:00 - 08:00	305	490	467	489	340	108	238
08:00 - 09:00	331	464	455	454	379	133	201
09:00 - 10:00	284	325	429	447	334	157	276
10:00 - 11:00	253	405	367	370	325	120	275
11:00 - 12:00	320	351	404	423	360	210	356
12:00 - 13:00	326	413	478	508	402	195	325
13:00 - 14:00	305	389	541	570	408	375	318
14:00 - 15:00	246	403	453	491	380	314	257
15:00 - 16:00	285	391	425	454	308	391	270
16:00 - 17:00	243	345	446	461	309	365	273
17:00 - 18:00	245	382	440	462	389	418	304
18:00 - 19:00	310	541	433	456	391	407	393
19:00 - 20:00	263	592	431	455	402	433	355
20:00 - 21:00	206	323	422	431	409	427	323
21:00 - 22:00	188	242	359	378	386	324	250
22:00 - 23:00	94	90	122	131	121	107	170
23:00 - 00:00	33	33	33	33	36	37	33
TOTAL	4,479	6,544	6,992	7,242	6,177	4,773	4,965

En la figura N° 5 se observan las variaciones diarias, destacándose que el jueves presenta los volúmenes vehiculares más altos en comparación con los demás días.

Figura 5

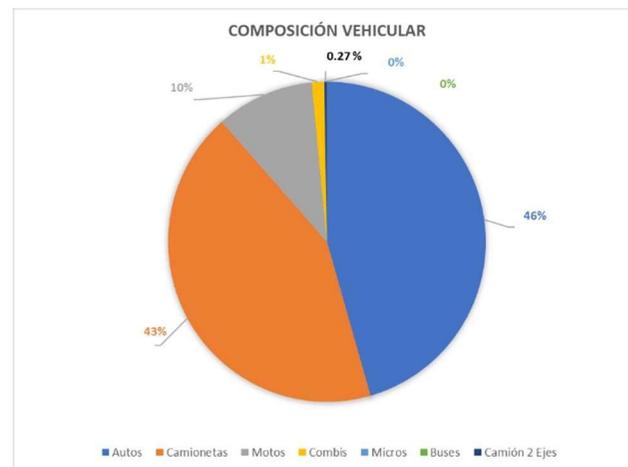
Variación horaria del volumen de tránsito total.



La tabla N° 6 se presenta el volumen de tránsito, clasificado según el tipo de vehículo, para cada día de la semana analizada. Para facilitar su interpretación, se eligió utilizar un gráfico circular.

Tabla 6*Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.*

TIPOS DE	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	TOTAL	PORCENTAJE
Autos	2,105	3,145	3,164	3,257	2,290	2,287	2,518	18,766	45.58%
Camionetas	1,775	2,718	3,105	3,183	3,201	1,805	1,877	17,664	42.90%
Motos	537	546	635	682	608	608	497	4,113	9.99%
Combis	62	104	56	71	78	70	72	513	1.25%
Micros	0	0	1	2	0	0	0	3	0.01%
C2	0	31	31	47	0	3	1	113	0.00%
TOTAL	4,479	6,544	6,992	7,242	6,177	4,773	4,965	41,172	100%

Figura 6*Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.*

4.1.3. Volúmenes vehiculares acceso Este

Se observa el volumen registrado para cada día en un conteo manual de 24 horas realizado en el acceso este, destacándose que el día con mayor volumen es el jueves.

Tabla 7

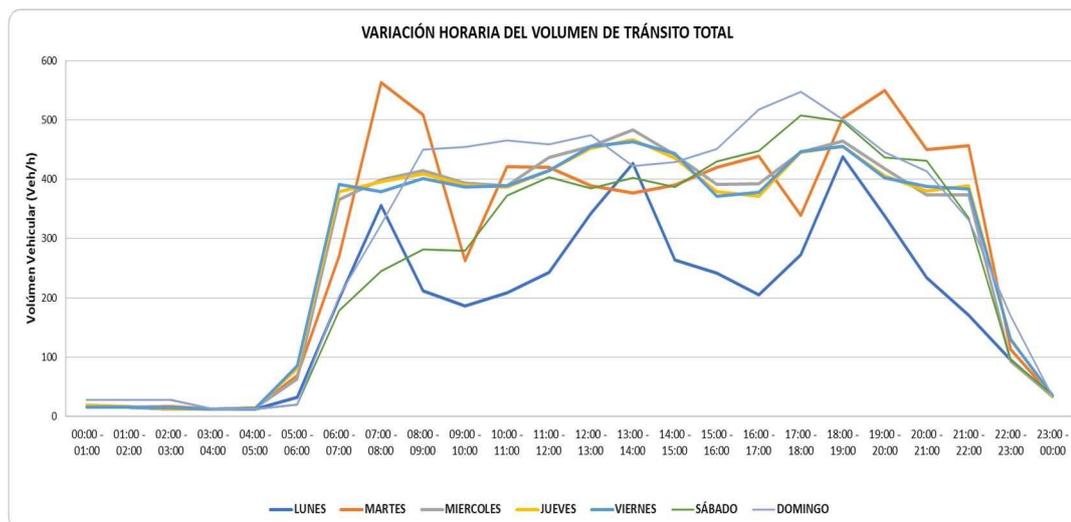
Variación horaria del volumen de tránsito mixto acceso Este.

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
00:00 - 01:00	17	18	19	19	16	28	28
01:00 - 02:00	16	16	16	17	16	28	28
02:00 - 03:00	13	17	15	12	15	28	28
03:00 - 04:00	12	12	12	12	12	12	12
04:00 - 05:00	12	15	15	15	14	12	12
05:00 - 06:00	32	69	63	81	86	20	20
06:00 - 07:00	199	270	366	379	391	179	203
07:00 - 08:00	356	563	399	396	379	245	324
08:00 - 09:00	212	509	414	409	401	282	450
09:00 - 10:00	186	263	394	390	387	279	454
10:00 - 11:00	209	421	389	387	389	372	465
11:00 - 12:00	243	420	437	415	415	403	459
12:00 - 13:00	342	389	456	452	456	385	474
13:00 - 14:00	427	377	483	467	463	402	422
14:00 - 15:00	264	390	441	436	443	387	429
15:00 - 16:00	242	420	391	379	371	430	451
16:00 - 17:00	205	439	392	371	378	448	518
17:00 - 18:00	273	339	446	445	447	508	548
18:00 - 19:00	438	503	464	455	456	498	501
19:00 - 20:00	338	550	418	406	402	437	446
20:00 - 21:00	234	450	373	380	388	431	413
21:00 - 22:00	171	457	373	389	383	335	331
22:00 - 23:00	96	113	93	131	130	96	170
23:00 - 00:00	33	33	33	33	36	37	33
TOTAL	4,570	7,053	6,902	6,876	6,874	6,282	7,219

En la figura N° 7 se observan las variaciones diarias, destacándose que el domingo presenta los volúmenes vehiculares más altos en comparación con los demás días.

Figura 7

Variación horaria del volumen de tránsito total.



La tabla N° 8 se presenta el volumen de tránsito, clasificado según el tipo de vehículo, para cada día de la semana analizada. Para facilitar su interpretación, se eligió utilizar un gráfico circular.

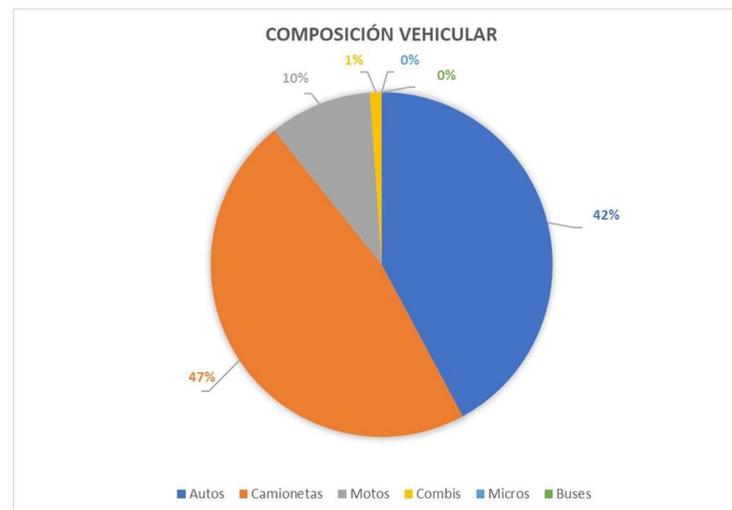
Tabla 8

Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.

TIPOS DE	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	TOTAL	PORCENTAJE
Autos	3,377	3,463	2,098	2,087	2,079	2,964	3,224	19,292	42.14%
Camionetas	663	2,926	4,130	4,145	4,157	2,524	2,987	21,532	47.04%
Motos	368	553	593	601	601	763	975	4,454	9.73%
Combis	162	103	81	43	37	31	33	490	1.07%
Buses	0	8	0	0	0	0	0	8	0.02%
TOTAL	4,570	7,053	6,902	6,876	6,874	6,282	7,219	45,776	100%

Figura 8

Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.



4.1.4. Volúmenes vehiculares acceso Sur

Se observa el volumen registrado para cada día en un conteo manual de 24 horas realizado en el acceso sur, destacándose que el día con mayor volumen es el jueves.

Tabla 9

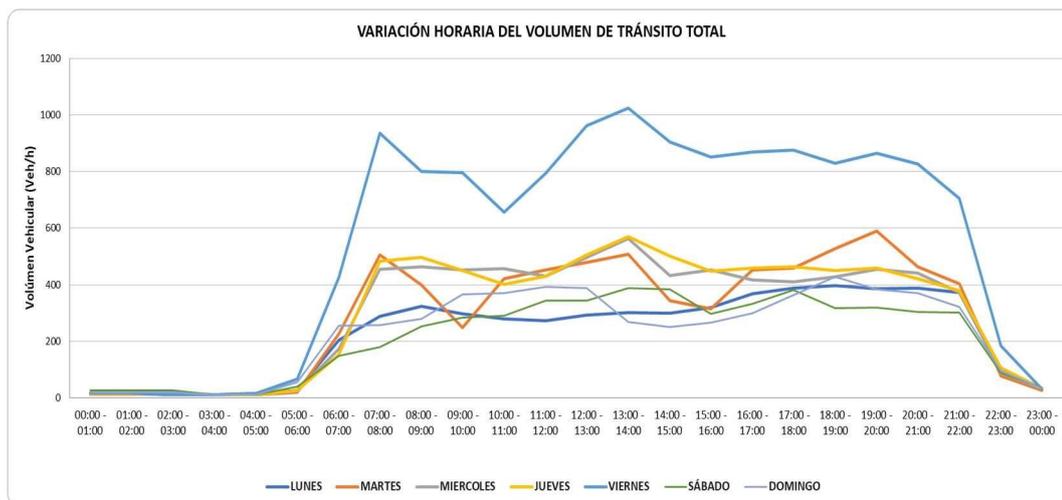
Variación horaria del volumen de tránsito mixto acceso Sur.

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
00:00 - 01:00	17	14	18	17	19	28	21
01:00 - 02:00	16	13	18	17	19	28	21
02:00 - 03:00	12	18	17	15	12	28	21
03:00 - 04:00	12	12	12	12	12	12	12
04:00 - 05:00	15	12	12	12	16	12	12
05:00 - 06:00	27	20	24	27	68	40	57
06:00 - 07:00	204	227	173	153	426	148	256
07:00 - 08:00	288	506	454	483	936	180	258
08:00 - 09:00	323	399	464	496	800	252	279
09:00 - 10:00	297	249	452	451	795	284	365
10:00 - 11:00	280	421	457	402	656	291	370
11:00 -12:00	273	453	430	430	793	343	393
12:00 - 13:00	292	480	496	505	962	343	388
13:00 - 14:00	301	507	563	569	10 24	388	269
14:00 - 15:00	300	343	433	502	905	383	250
15:00 - 16:00	320	314	453	448	852	297	267
16:00 - 17:00	368	452	416	458	869	333	299
17:00 - 18:00	388	459	410	464	875	382	363
18:00 - 19:00	396	527	429	450	829	317	428
19:00 - 20:00	387	589	454	459	864	319	383
20:00 - 21:00	388	464	442	422	826	304	370
21:00 - 22:00	373	404	373	379	705	301	322
22:00 - 23:00	94	79	89	106	184	90	96
23:00 - 00:00	33	28	33	33	32	37	33
TOTAL	5,404	6,990	7,122	7,310	13,479	5,140	5,533

En la figura N° 9 se observan las variaciones diarias, destacándose que el domingo presenta los volúmenes vehiculares más altos en comparación con los demás días.

Figura 9

Variación horaria del volumen de tránsito total.



La tabla N° 10 se presenta el volumen de tránsito, clasificado según el tipo de vehículo, para cada día de la semana analizada. Para facilitar su interpretación, se eligió utilizar un gráfico circular.

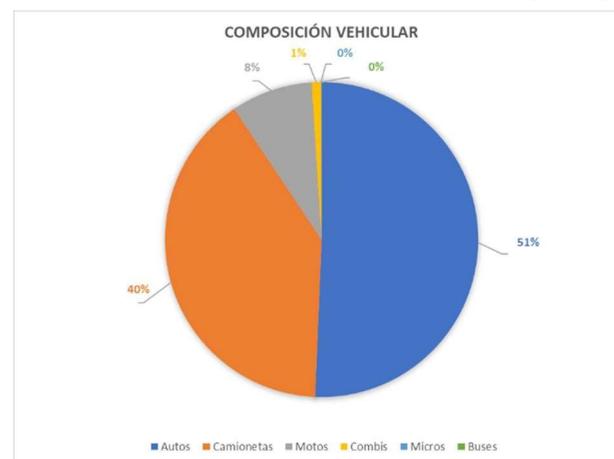
Tabla 10

Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.

TIPOS DE	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	TOTAL	PORCENTAJE
Autos	3,208	3,918	3,139	3,237	6,828	2,651	2,809	25,790	50.59%
Camionetas	1,672	2,426	3,137	3,207	6,016	1,804	2,060	20,322	39.86%
Motos	465	534	752	734	594	593	610	4,282	8.40%
Combis	59	92	94	87	41	64	54	491	0.96%
Micros	0	8	0	1	0	2	0	11	0.02%
Buses	0	12	0	0	0	0	0	12	0.02%
C2	0	0	0	44	0	26	0	70	0.14%
TOTAL	5,404	6,990	7,122	7,310	13,479	5,140	5,533	50,978	100%

Figura 10

Variación diaria del volumen de tránsito por tipo de vehículo.



4.2. Volumen horario de máxima demanda

4.2.1. Volumen horario de máxima demanda acceso Oeste

Se analizó toda la semana en el acceso oeste y se identificó que el viernes registra un índice de Q15 superior al de los demás días, como se detalla en la tabla N° 11 y se ilustra gráficamente en la figura N° 11.

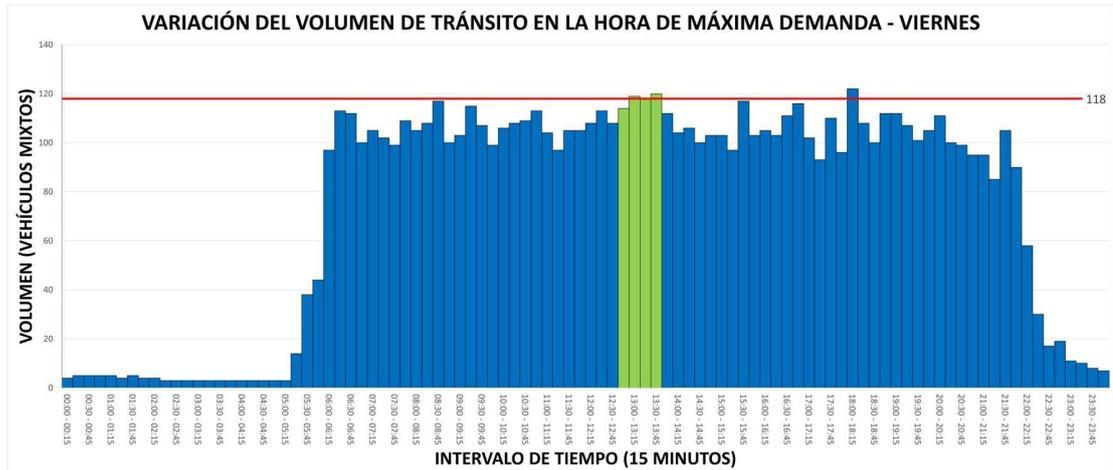
Tabla 11

Volumen horario de máxima demanda acceso Oeste.

HORA	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
VHMD	298	534	445	446	471	338	339
Q15MAX	77	143	112	113	120	88	98
FHMD15	0.97	0.93	0.99	0.99	0.98	0.96	0.86
VHMD como Q15	75	134	111	112	118	85	85

Figura 11

Variación de tránsito en la hora de máxima demanda.



4.2.2. Volumen horario de máxima demanda acceso Norte

Se analizó toda la semana en el acceso norte y se identificó que el martes registra un índice de Q15 superior al de los demás días, como se detalla en la tabla N° 12 y se ilustra gráficamente en la figura N° 12.

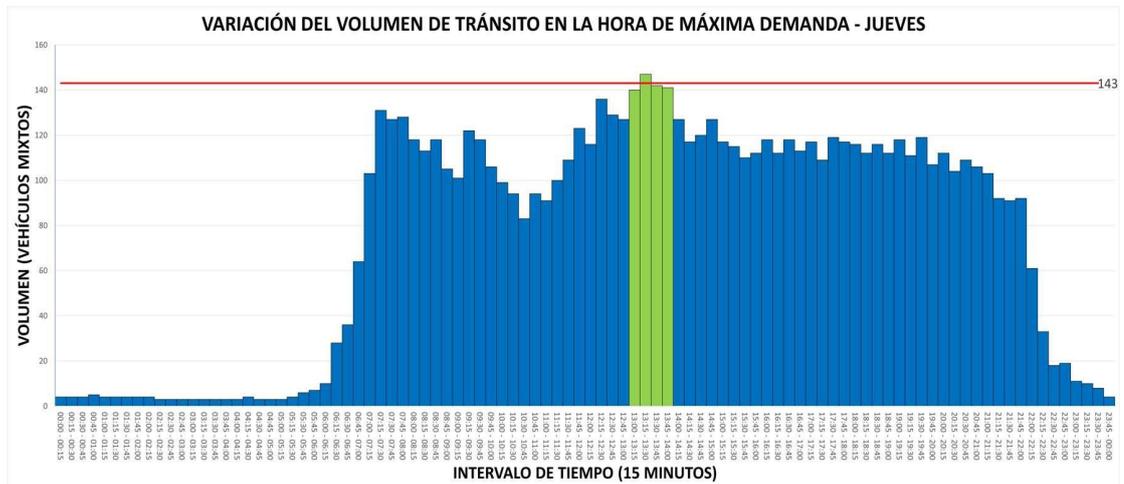
Tabla 12

Volumen horario de máxima demanda acceso Norte.

HORA	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
VHMD	337	605	541	570	440	437	393
Q15MAX	88	162	139	147	132	114	105
FHMD15	0.96	0.93	0.97	0.97	0.83	0.96	0.94
VHMD como Q15	84	142	135	143	110	109	98

Figura 12

Variación de tránsito en la hora de máxima demanda.



4.2.3. Volumen horario de máxima demanda acceso Este

Se analizó toda la semana en el acceso este y se identificó que el viernes registra un índice de Q15 superior al de los demás días, como se detalla en la tabla N° 13 y se ilustra gráficamente en la figura N° 13.

Tabla 13

Volumen horario de máxima demanda acceso Este.

HORA	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
VHMD	438	594	483	469	466	508	551
Q15MAX	127	152	125	124	121	136	145
FHMD15	0.86	0.98	0.97	0.95	0.96	0.93	0.95
VHMD como Q15	110	137	121	117	117	127	138

Figura 13

Variación de tránsito en la hora de máxima demanda.



4.2.4. Volumen horario de máxima demanda acceso Sur

Se analizó toda la semana en el acceso sur y se identificó que el viernes registra un índice de Q15 superior al de los demás días, como se detalla en la tabla N° 14 y se ilustra gráficamente en la figura N° 14.

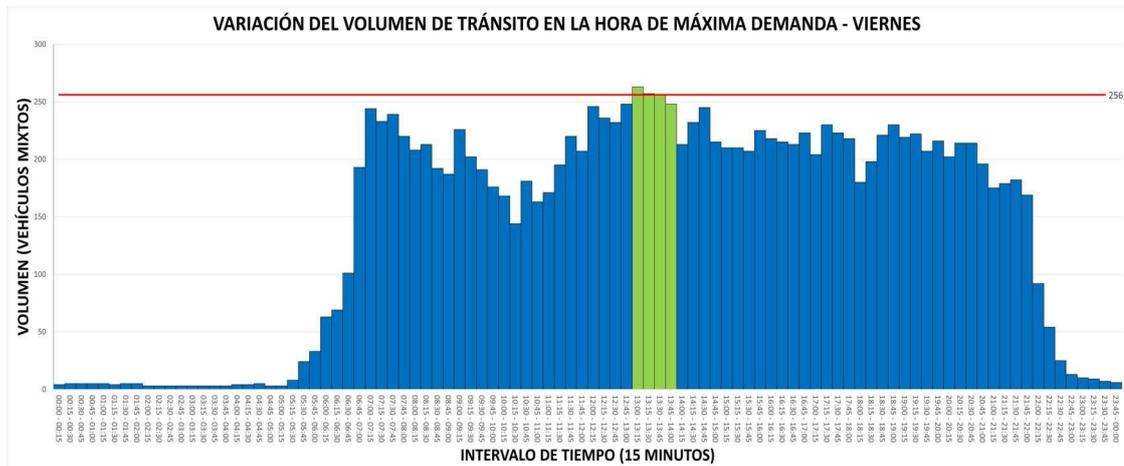
Tabla 14

Volumen horario de máxima demanda acceso Sur.

HORA	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
VHMD	413	589	563	569	1024	398	432
Q15MAX	109	154	150	150	263	107	118
FHMD15	0.95	0.96	0.94	0.95	0.97	0.93	0.92
VHMD como Q15	103	147	141	142	256	100	108

Figura 14

Variación de tránsito en la hora de máxima demanda.



4.3. Volumen de tránsito en la intersección

El cálculo del volumen de tránsito en la intersección se realizó considerando el criterio del día crítico para todos los accesos, con el propósito de identificar el día más desfavorable, que resultó ser el viernes. La representación gráfica de este análisis se encuentra en la figura N° 15, mientras que los volúmenes registrados durante todo el día para cada acceso se detallan en la tabla N° 15.

Figura 15

Volúmenes de tránsito direccionales.

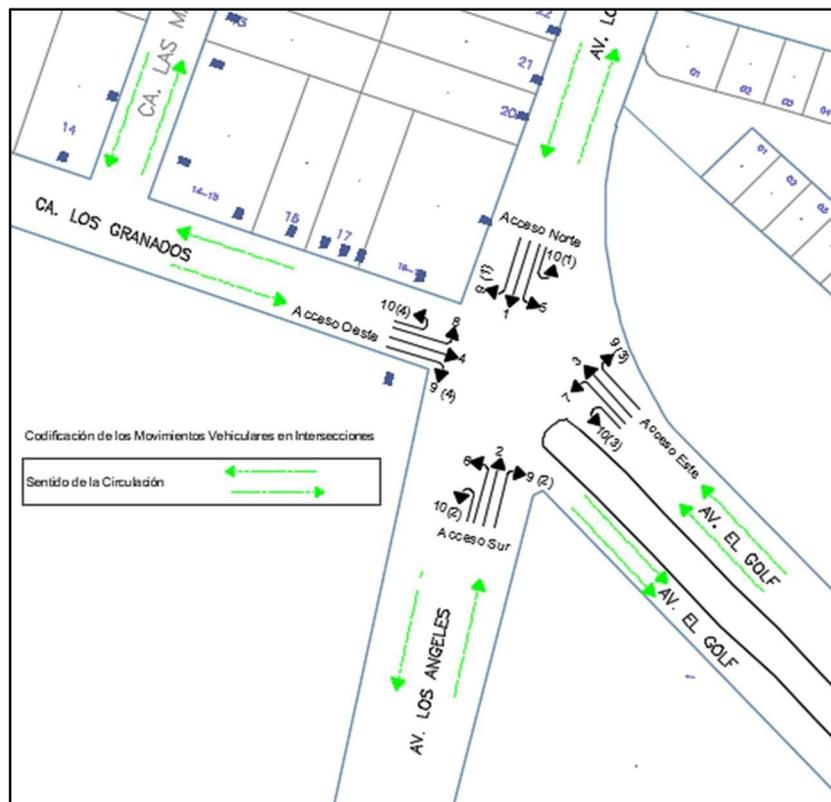


Tabla 15*Variación del volumen de tránsito.*

Acceso	Movimiento	Código	Conteo	Total (veh.)
			Vehicular	
Norte	Directo	1	2,587 veh.	6,177 veh
	Giro a Izquierda	5	799 veh.	
	Giro a la derecha	9(1)	2,791 veh.	
	Giro en U	10(1)	0 veh.	
Sur	Directo	2	5,994 veh.	13,479 veh
	Giro a Izquierda	6	5,811 veh.	
	Giro a la derecha	9(2)	1,674 veh.	
	Giro en U	10(2)	0 veh.	
Este	Directo	3	3,134 veh.	7,219 veh
	Giro a Izquierda	7	1,157 veh.	
	Giro a la derecha	9(3)	2,928 veh.	
	Giro en U	10(3)	0 veh.	
Oeste	Directo	4	3,023 veh	7,099 veh
	Giro a Izquierda	8	1078 veh	
	Giro a la derecha	9(4)	2,998 veh	
	Giro en U	10(4)	0 veh	

4.4. Velocidades en las intersecciones

Según los datos presentados en la tabla N° 16, las velocidades de recorrido y de marcha fueron obtenidas utilizando un vehículo de prueba en los tramos analizados, con resultados que varían entre 20 km/h y 30 km/h.

Tabla 16*Velocidades de recorrido y velocidades de marcha por acceso*

Recorrido	Tiempo de recorrido (S)	Tiempo de marcha (s)	Velocidad de recorrido	Velocidad de Marcha	%Demoras
(N-S)	884	560	12.38	19.53	37%
(S-N)	865	593	12.66	18.44	31%
(O-E)	435	354	16.85	20.71	19%
(E-O)	436	328	16.81	22.32	25%
PROMEDIO	655	459	15	20	28%

4.5. Flujo vehicular de las intersecciones

4.5.1. Flujo vehicular acceso Oeste

Una vez identificado el día más crítico de la semana para el acceso oeste, se determinó el flujo vehicular correspondiente a ese día. Los resultados se encuentran representados en la figura N° 16 y la tabla N° 17.

Figura 16

Flujo Vehicular acceso Oeste.

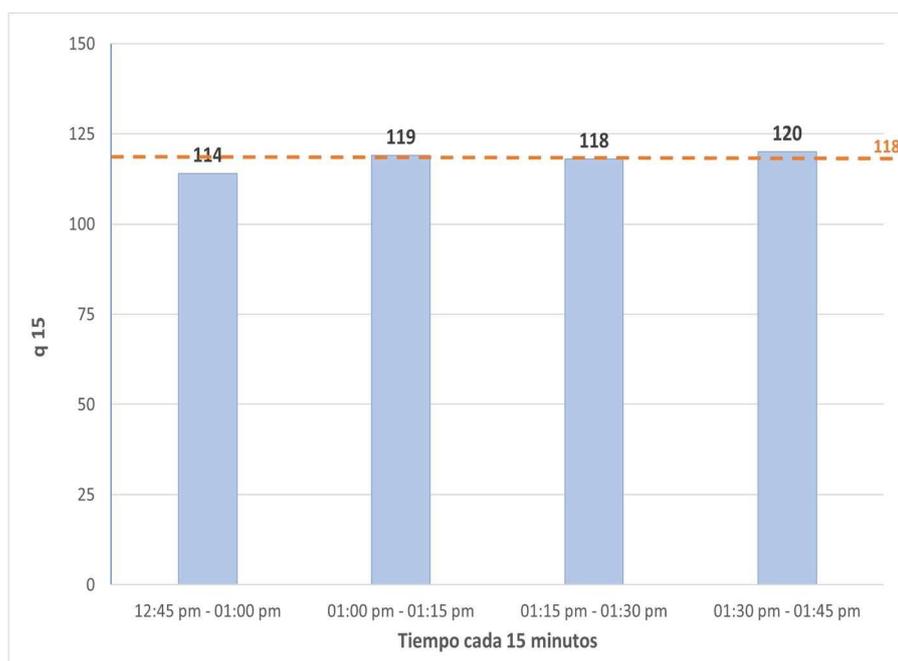


Tabla 17

Flujo vehicular del día crítico del acceso Oeste.

DÍA	TURNO	HORA	q15	q15 max	Qi VHMD (vehículos mixtos / 15min)	$Q \leq q15$
VIERNES	TARDE	12:45 - 13:00	114	120	118	Flujo normal
		13:00 - 13:15	119			Posible problema congestionamiento
		13:15 - 13:30	118			Posible problema congestionamiento
		13:30 - 13:45	120			Posible problema congestionamiento

4.5.2. Flujo vehicular acceso Norte

Una vez identificado el día más crítico de la semana para el acceso norte, se determinó el flujo vehicular correspondiente a ese día. Los resultados se encuentran representados en la figura N° 17 y la tabla N° 18.

Figura 17

Flujo Vehicular acceso Norte.

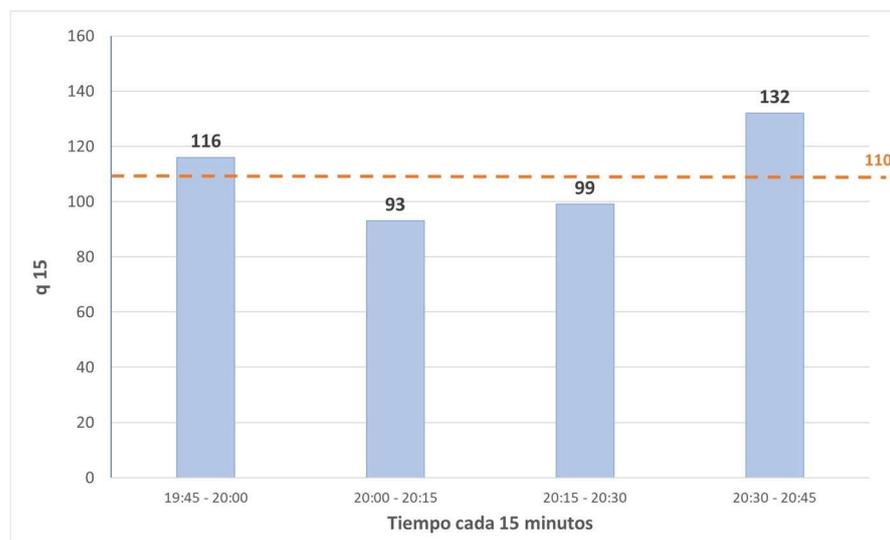


Tabla 18

Flujo vehicular del día crítico del acceso Norte.

DÍA	TURNO	HORA	q15	q15 max	Qi VHMD (vehículos mixtos / 15min)	Q ≤ q15
VIERNES	NOCHE	19:45 - 20:00	116	132	110	Posible problema congestiónamiento
		20:00 - 20:15	93			Flujo normal
		20:15 - 20:30	99			Flujo normal
		20:30 - 20:45	132			Posible problema congestiónamiento

4.5.3. Flujo vehicular acceso Este

Una vez identificado el día más crítico de la semana para el acceso Este, se determinó el flujo vehicular correspondiente a ese día. Los resultados se encuentran representados en la figura N° 18 y la tabla N° 19.

Figura 18

Flujo Vehicular acceso Este.

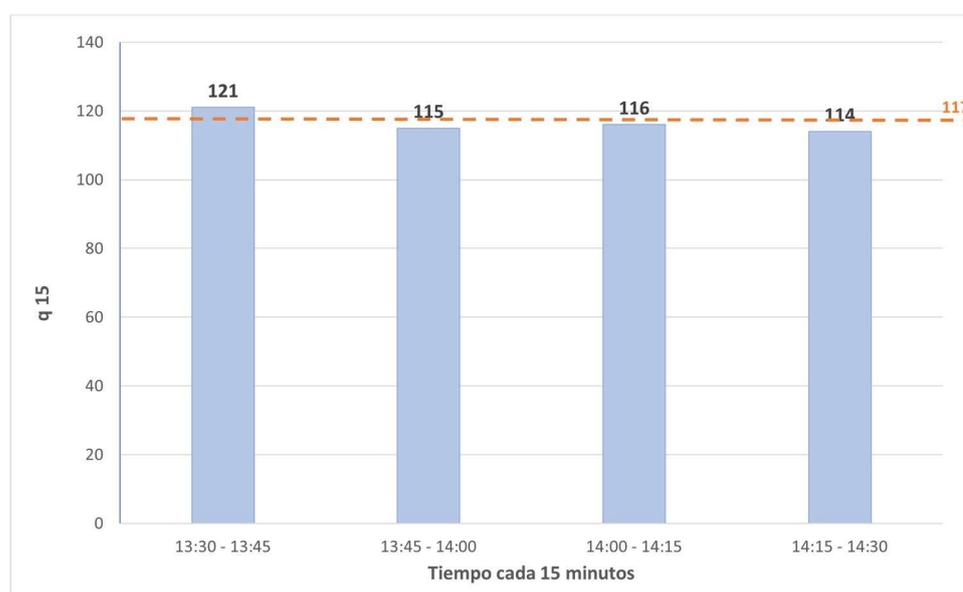


Tabla 19

Flujo vehicular del día crítico del acceso Este.

DÍA	TURNO	HORA	q15	q15 max	Qi VHMD (vehículos mixtos / 15min)	Q ≤ q15
VIERNES	TARDE	13:30 - 13:45	121	121	117	Posible problema congestionamiento
		13:45 - 14:00	115			Flujo normal
		14:00 - 14:15	116			Flujo normal
		14:15 - 14:30	114			Flujo normal

4.5.4. Flujo vehicular acceso Sur

Una vez identificado el día más crítico de la semana para el acceso sur, se determinó el flujo vehicular correspondiente a ese día. Los resultados se encuentran representados en la figura N° 19 y la tabla N° 20.

Figura 19

Flujo Vehicular acceso sur.

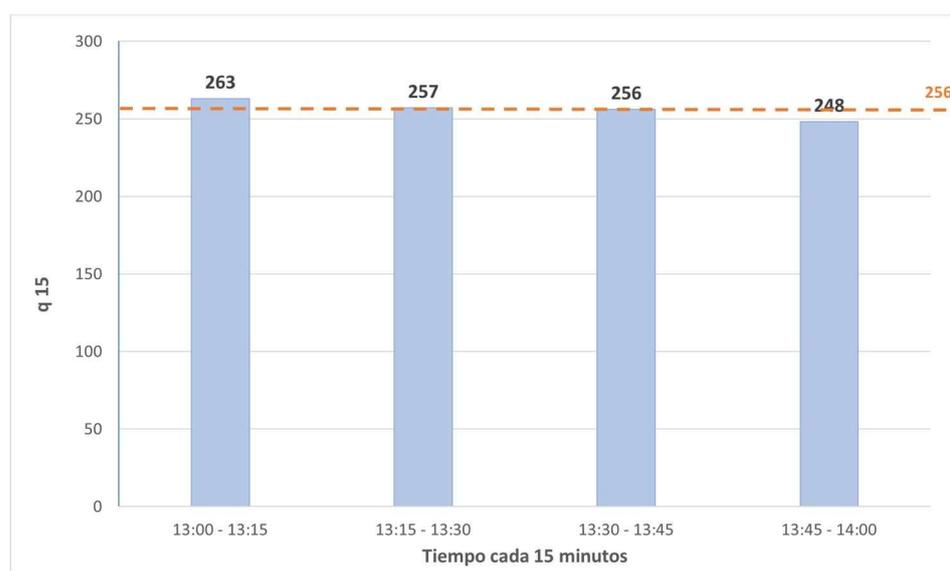


Tabla 20

Flujo vehicular del día crítico del acceso Sur.

DÍA	TURNO	HORA	q15	q15 max	Qi VHMMD (vehículos mixtos / 15min)	Q ≤ q15
VIERNES	NOCHE	13:00 - 13:15	263	263	256	Posible problema congestionamiento
		13:15 - 13:30	257			Posible problema congestionamiento
		13:30 - 13:45	256			Posible problema congestionamiento
		13:45 - 14:00	248			Flujo normal

4.6. Semaforización en una intersección

La tabla N° 29 presenta los tiempos de duración para cada color del semáforo, así como las fases correspondientes en la intersección. En la figura N° 27 se ilustran los movimientos asociados a cada fase.

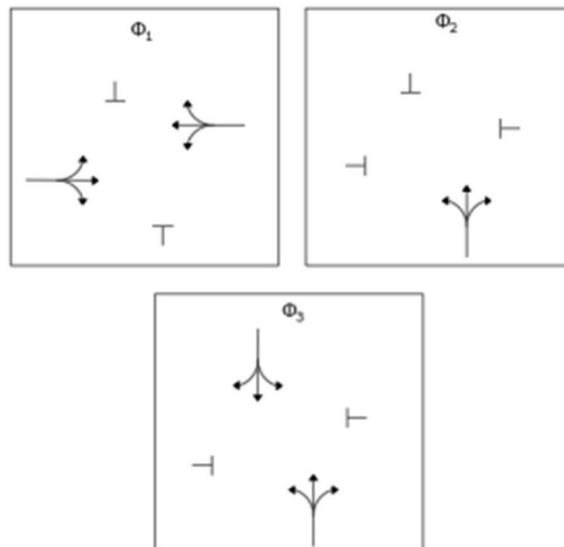
Tabla 21

Fases actuales de semáforo.

FASE	DESCRIPCIÓN					CICLO
E-W	PRIMERA FASE	40	3	52		95
S-N	SEGUNDA FASE	52	40	3		95
N-S	TERCERA FASE	30	33	25	3	91

Figura 20

Fases actuales de semáforo



4.6.1. Intervalo de cambio de fase

La tabla N° 22 muestra los datos obtenidos sobre el intervalo de cambio de luz amarilla y el despeje de luz roja total, considerando una velocidad vehicular de 30 km/h.

Tabla 22

Fases actuales de semáforo.

DATOS		ACCESOS			
		Acceso Norte	Acceso Sur	Acceso Oeste	Acceso Este
Tiempo de percepción - reacción t	(s)	1.00	1.00	1.00	1.00
Velocidad aproximada vehículos - 30 km/h	(m/s)	8.33	8.33	8.33	8.33
Tasa de desaceleración: a	(m/s ²)	3.05	3.05	3.05	3.05
Ancho de la intersección W	(m)	8.89	8.43	7.46	11.72
Longitud del vehículo L	(m)	4.36	4.36	4.36	4.36
Intervalo de cambio amarillo A	(s)	3	3	3	2
Intervalo de despeje todo rojo TR	(s)	2	2	1	2

4.6.2. Volúmenes mixtos horarios de máxima demanda

La tabla N° 23 considera el periodo pico de mayor demanda, correspondiente al miércoles entre las 13:00 y 14:00 horas.

Tabla 23

Volumen horario de máxima demanda.

Tipo de transporte	CODIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS POR ACCESO											
	Acceso Norte			Acceso Sur			Acceso Este			Acceso Oeste		
	1	9(1)	5	2	9(2)	6	3	9(3)	7	4	9(4)	8
Transporte Privado	205	150	20	245	165	20	531	321	148	252	168	37
Transporte Público	14	4	3	14	4	3	6	4	3	1	2	2
Transporte Carga	4	6	2	4	6	2	4	5	2	2	2	3
Total	223	160	25	263	175	25	541	330	153	255	172	42
Volumen mixto por acceso		408			463			1024			469	
FHMD		0.94			0.94			0.83			0.86	
Porcentaje de transporte privado		91.91			92.87			97.66			97.44	
Porcentaje de transporte público		5.15			4.54			1.27			1.07	
Porcentaje de transporte de carga		2.94			2.59			1.07			1.49	

4.6.3. Carriles y grupo de carriles

Tabla 24

Carriles y grupo de carriles.

Datos	ACCESOS											
	Norte			Sur			Este			Oeste		
Movimientos por acceso	1	9(1)	5	2	9(2)	6	3	9(3)	7	4	9(4)	8
Volumen horario mixto	223	160	25	263	175	25	541	330	153	255	172	42
Volumen horario mixto por acceso		408			463			1024			469	
# carriles por acceso		2			2			4			2	
	223	160	25	263	175	25	541	330	153	255	172	42
Comparación de volúmenes	>	<	<	>	<	<	>	>	<	>	<	<
	185	248	383	200	288	438	161	231	290	214	297	427
Detalle de compartimiento	NC	C	C	NC	C	C	NC	NC	C	NC	C	C
AGRUPACIÓN	FD	DF	IF	FD	DF	IF	-	DF	IF	-	DF	IF

Leyenda:

- NC: No comparte
- C: Comparte

4.6.4. Ajustes de volúmenes.

Tabla 25

Ajustes de volúmenes.

Datos	ACCESOS											
	Norte			Sur			Este			Oeste		
Movimientos por acceso	1	9(1)	5	2	9(2)	6	3	9(3)	7	4	9(4)	8
Volumen por movimiento (vph)	223	160	25	263	175	25	541	330	153	255	172	42
FHMD	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.83	0.83	0.83	0.86	0.86	0.86
Flujo Vp (vph)	237	170	27	280	186	27	652	398	184	297	200	49
Movimientos por grupo	FD	DF	IF	FD	DF	IF	-	DF	IF	-	DF	IF
Flujo por grupo Vgi (vph)	328	289	145	373	326	166	-	723	510	-	348	197
# carriles por acceso	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1
Factor de utilización (Lii)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Flujo ajustado Vi	328	289	145	373	326	166	-	723	510	-	348	197
Proporción de vueltas (PVI,PVD)	0.52	0.59	0.18	0.50	0.57	0.16	-	0.55	0.36	-	0.57	0.25
VUELTA	-	D	I	-	D	I	-	D	I	-	D	I

4.6.5. Flujo de saturación

Tabla 26

Ajustes de volúmenes.

Datos	ACCESOS									
	Norte			Sur			Este		Oeste	
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	RT	LT	RT
Movimientos por grupo	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	RT	LT	RT
Flujo de saturación ideal (SO)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
# Carriles	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor de ajuste por ancho de carril (fA)	1.05	0.93	0.93	1.05	1.00	1.02	1.01	1.06	1.07	1.08
Factor de ajuste por vehículo pesado (Fvp o Fhv)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de ajuste por pendiente (Fp o Fg)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de ajuste por estacionamiento (FE o Fp)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de ajuste por parada autobuses (FB o Fbb)	0.85	0.85	0.85	0.80	0.80	0.80	0.89	0.89	0.88	1.00
Factor de ajuste por localización (fL o Fa)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de ajuste por utilización de carriles (flu)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de ajuste por vueltas a la izquierda (fVI o fLT)	0.97	0.97	0.99	0.98	0.97	0.99	0.97	0.98	0.97	0.99
Factor de ajuste por vueltas a la derecha (fRT o fRT)	0.97	0.97	0.99	0.98	0.97	0.99	0.97	0.98	0.97	0.99
Fujo de saturación ajustado (Si)	1610	1419	1476	1518	1436	1520	1616	1723	1695	1989
Flujo de saturación en el acceso	4505			4473			3339		3684	

4.6.6. Vehículos equivalentes

Tabla 27

Vehículos equivalentes.

DATOS	ACCESOS											
	Acceso Norte			Acceso Sur			Acceso Este			Acceso Oeste		
Fhv	0.96			0.97			0.99			0.99		
Flujo equivalente	qD	qvd	qVI	qD	qvd	qVI	qD	qvd	qVI	qD	qvd	qVI
Flujos equivalentes ADE/h	247	177	28	290	193	28	659	402	186	300	203	49
Flujo máximo equivalente	247			290			659			300		
Número de carriles	3			3			2			2		
Flujo de saturación por carril	4505			4473			3339			2541		

4.6.7. Relación de flujo actual (q) a flujo de saturación (s) por carril

Tabla 28

Relación flujo actual (q) a flujo de saturación (s).

	Y1	Y2	Y3	Y4
Y	0.05	0.06	0.20	0.12

4.6.8. Tiempo perdido para las fases

Considerando que se han propuesto 3 fases y que los intervalos de luz amarilla y todo rojo tendrán una duración de 3 segundos cada uno, tal como se indica en la tabla N° 29, el tiempo total perdido para las tres fases resulta ser de 18 segundos.

Tabla 29*Tiempo perdido para 3 fases.*

Datos	Tiempo (s)
Numero de fases propuestas	3
Intervalo de cambio amarillo A (s)	3
Intervalo de despeje todo rojo TR (s)	3
Tiempo total perdido para 3 fases L (s)	18

4.6.9. Longitud de ciclo óptimo

La tabla N° 30 presenta una longitud de ciclo óptima de 66.85 segundos; sin embargo, en la práctica se utiliza un valor aproximado a múltiplos de diez, por lo que se optó por redondear el ciclo a 70 segundos.

Tabla 30*Longitud de ciclo óptimo.*

Datos	
Sumatoria de Y_i	0.32
Longitud de ciclo óptimo (s)	76.85
Ciclo redondeado al superior (s)	80

4.6.10. Tiempo de verde efectivo total.

Aplicando la fórmula para calcular el tiempo de verde efectivo, se obtuvo un resultado de 32 segundos.

4.6.11. Reparto de tiempo verde efectivo

Tabla 31

Reparto de tiempo verde efectivo.

g_i	(s)
g_1 (s)	9
g_2 (s)	11
g_3 (s)	32

4.6.12. Reparto de tiempo verde reales

Tabla 32

Reparto de tiempo verde reales.

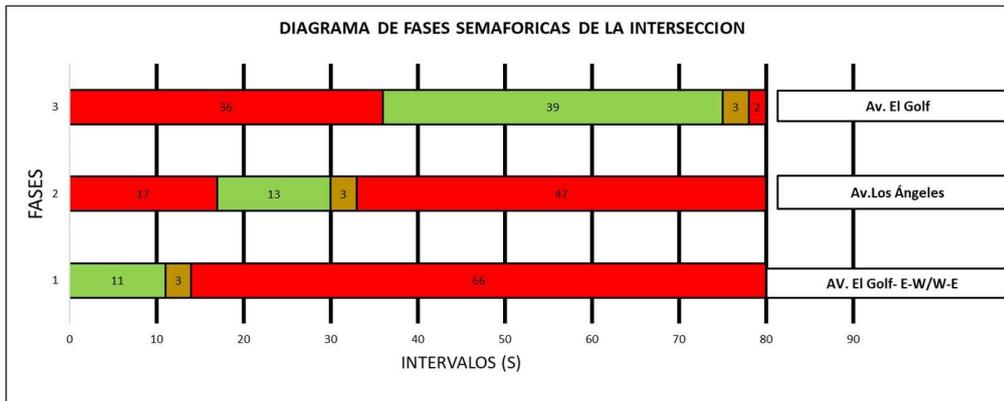
G_i	(s)
G_1 (s)	9
G_2 (s)	11
G_3 (s)	32

4.6.13. Nuevos ciclos semafóricos

Como se observa en la figura N° 21, se calcularon las 3 fases para un ciclo total de 70 segundos. El diagrama de intervalo vs. fase muestra la distribución de cada fase.

Figura 21

Nuevos ciclos semaforicos.



4.7. Capacidad Vial

Según se puede ver en la tabla N°33, el grupo de saturación en la intersección es de 0.81.

Tabla 33

Grupo de carril crítico.

Datos	ACCESOS										Grupo de saturación en la intersección
	Norte			Sur			Oeste		Este		
	RT	TH	LT	RT	TH	LT	RT	LT	RT	LT	
Movimientos por grupo	RT	TH	LT	RT	TH	LT	RT	LT	RT	LT	
Flujo ajustado V_i	328	289	145	373	326	166	723	510	348	197	
Flujo de saturación ajustado (S_i)	1,610.50	1,418.51	1,476.18	1,517.68	1,435.61	1,519.61	1,615.67	1,723.45	1,694.66	1,989.37	
Relación de flujo (v/s_i)	0.20	0.20	0.10	0.25	0.23	0.11	0.45	0.30	0.21	0.10	0.81
Relación de verde	0.36	0.36	0.36	0.37	0.37	0.37	0.47	0.47	0.47	0.47	
Capacidad del grupo de carriles	575.18	506.61	527.21	563.71	533.23	564.43	761.67	812.48	798.91	937.85	
Relación (v/c_i) - X_i	0.57	0.57	0.28	0.66	0.61	0.29	0.95	0.63	0.44	0.21	
Grupo de carril crítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

4.8. Niveles de servicio

El nivel de servicio de la intersección completa es de categoría C, tal como se muestra en la tabla N°34.

Tabla 34

Nivel de servicio de la intersección.

Datos	ACCESOS									
	Norte			Sur			Oeste		Este	
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	RT	LT	RT
Movimientos por grupo										
Relación (v/c _i) - X _i	0.57	0.57	0.28	0.66	0.61	0.29	0.95	0.63	0.44	0.21
Relación de verde	0.36	0.36	0.36	0.37	0.37	0.37	0.47	0.47	0.47	0.47
Longitud de ciclo (m)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Demora uniforme d _i (S/VEH)	18.17	18.16	16.04	18.33	17.89	15.53	17.71	13.89	12.31	10.85
Capacidad de grupo por carril C _i (Vph)	575.18	506.61	527.21	563.71	533.23	564.43	761.67	812.48	798.91	937.85
Demora incrementada L d _{2i} (S/VEH)	1.75	1.98	0.55	2.59	2.22	0.57	10.12	1.57	0.74	0.22
Demora por cola inicial d ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demora media por control de grupo	19.92	20.14	16.60	20.91	20.12	16.10	27.83	15.47	13.05	11.07
Factor de progresión FP	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Demora del grupo de carriles día (S/veh)	19.92	20.14	16.60	10.46	10.06	8.05	13.92	7.73	2.18	1.85
Nivel de servicio del grupo de carriles	C	C	C	C	C	B	C	B	B	B
Demora en el acceso D _a (S/veh)		19.37			9.84		11.36		2.06	
NIVEL DE SERVICIO EN EL ACCESO		C			C		C		B	

4.9. Propuesta de mejora

Hay varios métodos disponibles para aliviar la congestión en la intersección, entre los cuales se incluyen:

4.9.1. Intersecciones a desnivel

Según el MTC en su libro de diseño geométrico de carreteras (2018), esta solución mejora el nivel de servicio de la intersección, permitiendo que los vehículos que circulan en la zona realicen todas las maniobras sin generar conflictos entre ellos.

Tabla 35

Criterio general de diseño según capacidad por carril.

Tipo de vía	Ancho de carril (m)	Capacidad por carril (veh/hora)
Vía principal	3.60	1,500
Vía secundaria	3.30	1,350
Vía de enlace		1,200
Carril de deceleración		1,200

Nota. Indica la capacidad por carril según tipo de vía. Fuente: MTC DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS DG-2018

Como se muestra en la tabla, se detallan los criterios que debe cumplir la intersección según el tipo de vía. En el caso analizado, las vías principales, Av. El Golf y Av. Los Ángeles, no cuentan con un ancho de carril de 3.60 metros y su capacidad vial supera lo recomendado, lo que hace que esta solución no sea viable.

4.9.2. Señalización

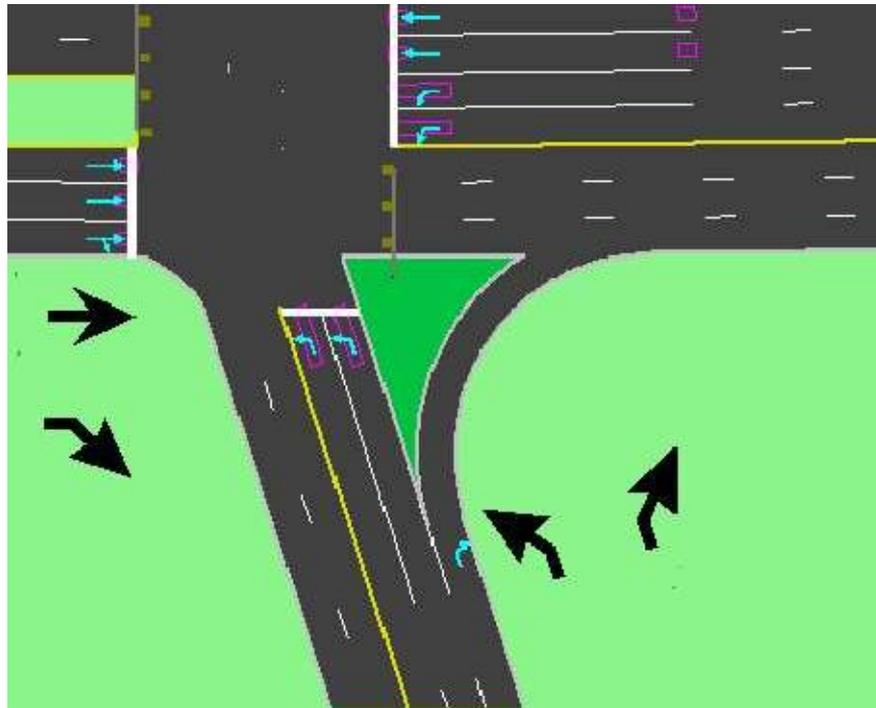
Según lo indicado por el MTC en el inciso 502.04 del manual de diseño geométrico de carreteras, todas las vías deben estar equipadas con señalizaciones informativas, preventivas y restrictivas. Sin embargo, en la intersección analizada en esta tesis, se detectó una ausencia de dichas señalizaciones.

4.9.3. Implementación de Carriles Exclusivos para Giros a la Derecha

Se propone implementar carriles exclusivos para giros a la derecha en los sentidos este-norte y sur-este en la intersección de la avenida Los Ángeles con la avenida El Golf, como una medida clave para optimizar la movilidad vehicular. Esta solución busca acelerar el flujo de tráfico y disminuir los tiempos de espera, enfrentando así los problemas de congestión en la intersección. El plan incluye un diseño detallado en colaboración con ingenieros de tránsito, señalización clara, participación ciudadana para obtener retroalimentación, e implementación gradual para facilitar la adaptación de los conductores. Se establecerá un monitoreo continuo para evaluar la efectividad de los carriles exclusivos y hacer ajustes cuando sea necesario, con el fin de mejorar la eficiencia del tránsito y asegurar una conducción más fluida y segura.

Figura 22

Detalle de carril exclusivo con giro hacia la derecha.



La propuesta de implementar carriles exclusivos con giros hacia la derecha en los sentidos Este - Norte y Sur - Este de la intersección, emerge como una solución prometedora para abordar los problemas de congestión y mejorar la movilidad vial en la zona. Este enfoque estratégico no solo tiene el potencial de agilizar el flujo vehicular, reduciendo los tiempos de espera, sino que también contribuirá a mejorar la eficiencia del tráfico y, en última instancia, a fortalecer la seguridad vial.

4.9.4. Paso a desnivel

Un paso a desnivel es una estructura que permite el cruce de dos o más vías a diferentes niveles, permitiendo el tránsito simultáneo sin mezclar los flujos de tráfico. Estos pasos se diseñan en función del

volumen de tránsito para facilitar todos los movimientos posibles con el menor número de puntos de conflicto. Se construyen para incrementar la capacidad de intersecciones clave y avenidas, mejorando la seguridad y manteniendo o mejorando la funcionalidad de estas áreas. Dado que la construcción de un paso a desnivel requiere una inversión considerable, su diseño debe justificarse en términos de funcionalidad, capacidad, seguridad y viabilidad. En países en desarrollo, también es crucial fomentar una cultura de uso adecuado y cumplimiento de las normas para los pasos a desnivel.

V. DISCUSIÓN

- Para la recopilación de datos en el campo, se decidió utilizar el método de conteo manual, con un periodo de conteo diario de 24 horas durante 7 días consecutivos, entre el 25/09/2023 y el 01/10/2023, en la zona de estudio.
- De acuerdo con los datos sobre la variación horaria del volumen vehicular mixto obtenidos y presentados en las tablas N°3, 5, 7 y 9 de esta investigación, se observa que el volumen vehicular mixto más alto se registra los días viernes, alcanzando un volumen diario de 13,479 vehículos por día.
- En relación con el punto anterior, se eligió el día viernes como el día representativo para el análisis de la intersección en cada acceso, dado que es el día con el mayor volumen vehicular.
- Se obtuvieron los Valores Horarios Máximos Diarios (VHMD) por día y acceso, como se indica en las tablas N° 19, 20, 21 y 22. Para el acceso Norte, el día con el mayor volumen es el jueves, con un VHMD de 570 vehículos por hora y un $Q_{15\text{máx}}$ de 143. En el acceso Sur, el domingo presenta el mayor volumen, con un VHMD de 551 vehículos por hora y un $Q_{15\text{máx}}$ de 138. Para el acceso Oeste, el viernes muestra el mayor volumen, con un VHMD de 471 vehículos por hora y un $Q_{15\text{máx}}$ de 118. En el acceso Este, el viernes es el día con el mayor volumen, con un VHMD de 1024 vehículos por hora y un $Q_{15\text{máx}}$ de 256, de acuerdo con la metodología del HCM 2010.

- Según la tabla N°15, que presenta la variación horaria del tráfico, se registró un volumen total de entrada de 33,974 vehículos por día en toda la intersección.
- Se recolectaron las composiciones vehiculares correspondientes a cada uno de los accesos:
 - Para el acceso Norte un 45.58% de autos, 42.90% camionetas, 1.25% combis, tal como se muestra en la tabla N° 6 y la figura N° 6.
 - Para el acceso Sur un 42.14% de autos, 47.04% camionetas, 9.73% combis, tal como se muestra en la tabla N° 7 y la figura N° 7.
 - Para el acceso Oeste un 47.10% de autos, 41.76% camionetas, 10.20% combis, tal como se muestra en la tabla N° 5 y la figura N° 5.
 - Para el acceso Este un 50.59% de autos, 39.86% camionetas, 8.40% combis, tal como se muestra en la tabla N° 8 y la figura N° 8.
- Para el análisis del flujo vehicular, se aplicaron las directrices establecidas en el HCM 2010. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: para el acceso Oeste, el VHMD como Q15 es de 118 vehículos mixtos por 15 minutos, como se detalla en la tabla N°17 y figura N°16; para el acceso Norte, el VHMD como Q15 es de 110 vehículos mixtos por 15 minutos, según la tabla N°18 y figura N°17; para el acceso Sur, el VHMD como Q15 es de 117 vehículos mixtos por 15

minutos, según la tabla N°19 y figura N°18; y para el acceso Este, el VHMD como Q15 es de 256 vehículos mixtos por 15 minutos, como se muestra en la tabla N°20 y figura N°19.

- Se calcularon los factores de hora de máxima demanda (FHP) para cada día y acceso, obteniendo los siguientes rangos: en el acceso Norte, entre 0.83 y 0.97; en el acceso Sur, entre 0.86 y 0.98; en el acceso Oeste, entre 0.86 y 0.99; y en el acceso Este, entre 0.92 y 0.97. Estos resultados se detallan en las tablas N°11, 12, 13 y 14 de la presente investigación.
- Para determinar la velocidad, se utilizó el método del vehículo en movimiento o vehículo flotante, el cual permite obtener datos sobre tiempos de recorrido, volúmenes y densidades en vías urbanas y suburbanas. De acuerdo con esta metodología, se calcularon las velocidades de recorrido y de marcha para cada acceso, como se indica en la tabla N° 16 de esta investigación.
- Con base en los datos recopilados sobre volúmenes, flujos, velocidades y la geometría de la intersección, se utilizó la metodología del HCM 2010 para determinar la capacidad y los niveles de servicio en cada rama de la intersección semaforizada. Los resultados por acceso se detallan en la tabla N° 36 adjunta.

Tabla 36*Cuadro resumen de resultados capacidad y niveles de servicio.*

Datos	ACCESOS									
	Norte			Sur			Oeste		Este	
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	RT	LT	RT
Movimientos por grupo										
Flujo de saturación ajustado (S_i)	1,610.50	1,418.51	1,476.18	1,517.68	1,435.61	1,519.61	1,615.67	1,723.45	1,694.66	1,989.37
Capacidad de grupo por carril C_i (Vph)	575.18	506.61	527.21	563.71	533.23	564.43	761.67	812.48	798.91	937.85
Relación (v/c_i) - X_i	0.57	0.57	0.28	0.66	0.61	0.29	0.95	0.63	0.44	0.21
NIVEL DE SERVICIO EN EL ACCESO	C			C			C		B	

- Para la distribución de los tiempos semafóricos, se utilizó la metodología propuesta por el National Institute for Advanced Transportation Technology (NIATT), obteniendo una longitud de ciclo de 70 segundos en la intersección, un tiempo verde efectivo total de 19 segundos y 3 fases para los cuatro semáforos existentes, tal como se muestra en la figura N° 21. Con estos nuevos tiempos calculados, se logró una proporción de tiempo verde disponible (/) del 22% para la primera fase, 25% para la segunda fase y 32% para la tercera fase, optimizando los tiempos de circulación respecto a los actuales.

VI. CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos, se concluye que las variaciones en el volumen vehicular a lo largo de los distintos días de la semana siguen una tendencia similar en las horas de máxima demanda, comprendidas entre los intervalos de 7:00 a.m. y 9:00 p.m. para cada acceso.
- En cuanto a la demanda vehicular, el acceso Este registró en su día más crítico un volumen máximo de 13,479 vehículos mixtos por día, lo que supone un aumento del 37% en comparación con el volumen máximo del acceso Sur, que corresponde a la avenida El Golf.
- Se concluye que tanto para la avenida El Golf y la avenida Los Ángeles los autos representan la tercera parte de la composición vehicular. Esto implica que, debido a sus dimensiones y las velocidades máximas de recorrido, se genera un aumento en la congestión en relación con la geometría de los accesos.
- En cuanto a los flujos vehiculares y los resultados obtenidos en las tablas y gráficos, se concluye que el FHP para los accesos Norte y Sur de la Av. Los Ángeles es de 0.97 y 0.98, respectivamente, lo que indica una frecuencia de paso de vehículos casi uniforme durante toda la hora, generando posibles problemas de congestión. En el acceso Oeste, el FHP de 0.99 señala una distribución uniforme de los flujos máximos durante toda la hora. Para el acceso Este, su geometría particular se refleja en un incremento del VHMD y del 15 del 54% en comparación con el acceso opuesto en la Av. El Golf, que evidencia sobre saturación. El FHP de

0.97 en este acceso sugiere una distribución casi uniforme de los flujos máximos.

- Se concluye que en los accesos de la Av. El Golf, las velocidades de recorrido varían entre 20.71 y 22.32 km/h, lo que refleja un bajo desplazamiento y un aumento en la densidad, acercando la demanda de la vía a su capacidad máxima. El escenario más desfavorable se presenta en el acceso Este, donde las velocidades de recorrido están entre 12.38 y 12.66 km/h. Esto indica que, a menor velocidad, la densidad aumenta, provocando demoras y generando congestión, llegando incluso a una sobresaturación en este acceso específico.
- En cuanto a la capacidad vial, la relación intensidad/capacidad (v/C_i) es inferior a 1, lo que indica que los accesos están en un estado cercano a la saturación. Esto significa que hay más vehículos demandando la vía de los que esta puede manejar.
- En cuanto al nivel de servicio, se concluye que la intersección presenta un nivel de servicio tipo “C”. Este valor cualitativo indica que la calidad del servicio ofrecido por la infraestructura está en condiciones casi críticas, especialmente durante las horas pico.

- En cuanto a la distribución de los tiempos semafóricos, se ha logrado optimizar la proporción de tiempo verde efectivo del 22% al 32% en comparación con los tiempos actuales de la intersección. Esto significa que, durante 19 minutos de fase verde efectiva, el 32% del flujo vehicular podrá circular.

Tabla 37

Tiempos semafóricos

FASES	ACTUALES						CALCULADOS					
	R (s)	A (s)	V (s)	CICLO (S)	g/C (%)	Tiempo de Circulación fase verde en una hora (min)	R (s)	A (s)	V (s)	CICLO (S)	g/C (%)	Tiempo de Circulación fase verde en una hora (min)
W/E - E/W	52	3	40	95	17	7	66	3	11	80	9	8
S-N	52	3	40	95	21	8	64	3	13	80	11	9
N-S	63	3	25	91	22	22	38	3	39	80	32	19

- Con relación a la propuesta de mejora, es fundamental implementar los tiempos semafóricos optimizados según los cálculos realizados, además de fortalecer la señalización restrictiva e informativa para mejorar la seguridad y eficiencia en la intersección. Adicionalmente, se considera como solución altamente efectiva, aunque con un costo significativo, la construcción de un paso a desnivel, el cual permitiría eliminar conflictos vehiculares y aumentar la capacidad de la infraestructura vial, mejorando sustancialmente el flujo vehicular y reduciendo la congestión en la zona.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda una revisión y actualización de la señalización en las áreas críticas para garantizar que sea clara y efectiva en la gestión del flujo vehicular. La instalación de señales informativas y preventivas puede mejorar la toma de decisiones de los conductores.
- Se recomienda integrar estrategias de planificación urbana que consideren el impacto del crecimiento vehicular. Esto incluye la promoción de desarrollos que reduzcan la necesidad de desplazamientos largos y la planificación de redes viales más eficientes.
- Se recomienda la implementación de un sistema de control de semáforos más eficiente, basado en estudios de tráfico, para mejorar la sincronización y reducir los tiempos de espera. Considerar el uso de tecnologías avanzadas como los semáforos adaptativos que ajustan los tiempos en función del flujo vehicular en tiempo real.
- Se recomienda proponer un rediseño de las intersecciones problemáticas, incorporando elementos como carriles exclusivos para giros, rotondas o pasos elevados para mejorar la fluidez del tráfico y reducir los puntos críticos de congestión.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abata, K., Artega, F., & Delgado, D. (2022). *Análisis del congestionamiento vehicular en diferentes intersecciones en la ciudad de Portoviejo, Ecuador*. Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721, 7(1).
- Cal, R., & Reyes, M. (2015). *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones 8va Edición*. Editorial Alfaomega S.A.
- Colombia. Zhou, J. (2012). *Sustainable transportation in the US: A review of proposals, policies, and programs since 2000*. Frontiers of Architectural Research. Estados Unidos.
- Fernández, L., & Molina, A. (2022). *Diseño y gestión de vías urbanas: Enfoques contemporáneos*. Editorial Avanzada.
- Fernández, R., & Valenzuela, E. (2004). *Gestión ambiental de tránsito: cómo la ingeniería de transporte puede contribuir a la mejoría del ambiente urbano*. *EURE* (Santiago), 30(89), 97-107.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612004008900006>
- Frisancho, F., (2021). Evaluación del nivel de servicio en flujos vehiculares del óvalo Cuzco-Tacna 2019 y simulación de paso a desnivel sentido N-S utilizando Synchro V.8 [Universidad Privada de Tacna].
<http://hdl.handle.net/20.500.12969/2003>.
- Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2004). *Ingeniería de tránsito y carreteras*. Cengage Learning Editores.
- González, A. (2022). *Ingeniería del transporte: Conceptos básicos y aplicaciones*. Editorial Técnica.
- HAY, W. (1998). *Ingeniería de Transporte*. México.

- HCM. (2010). *“Manual de Capacidad de Carreteras”*. España.
- Henríquez, J. (2019). *Propuesta de Mejora Vial en la Intersección de la Avenidas Miguel Grau y Gulman en la Ciudad de Piura, Piura*. [Tesis Para Maestría, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional.
- Jiménez, M. C. y Quintero, J. R. (2007). *Manual de estudios de ingeniería de tránsito y transporte*. Colombia.
- López, R., & Martínez, J. (2021). *Diseño y planificación de infraestructuras viales*. Editorial de Ingeniería.
- Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras. (2016). Perú.
- Merino, M., (2022). *Planeamiento y desarrollo vial entre las avenidas Metropolitana I y II de la ciudad de Trujillo en el año 2019* [Tesis, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/8688>.
- Pérez, M., & Gómez, L. (2020). *Planificación y gestión de sistemas de transporte urbano*. Editorial de Ingeniería Civil.
- Redacción. (2017). *Las ciudades y países con el tráfico más congestionado de América Latina*. BBC MUNDO. Recuperado de <http://www.bbc.com/mundo/noticias-39045803>
- Rivera, Das Neves, Villanueva, y Rolón. (2008). *Análisis por micro simulación de las mini rotondas urbanas*. http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen12/analisis_por_micro_simulacion.pdf

- Roberto Hernández, Sampierí. (2014). *Metodología de la Investigación 6ta ed.* México.
- Ruiz Gallido , Laura (2016). "*Análisis de tráfico y la Seguridad Vial de la carretera N° 332 a su paso por el término Municipal de Favara*" . Valencia. Anuario Estadístico 2016, MTC.OGPP Oficina de Estadística, pág. 121.
- Ruiz, J., & Hernández, S. (2019). *Infraestructura y movilidad urbana: Diseño y operación de vías.* Editorial Técnica.
- Silvera, M., (2020). *Evaluación operacional de una red compuesta por 5 intersecciones a través del HCM, Synchro y Vissim* [Universidad de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/4658>.
- Sistema Inteligente de Movilidad (SIMM) de Medellín (2012). *Indicadores de Movilidad. Secretaría de Tránsito y Transporte de Medellín.* Recuperado de <http://www.Medellín.gov.co/transito/lineabase.html>
- Transportation Infrastructure Programs. (2012). *Australian Government Department of Infrastructure, Regional Development and Cities.* Australia. Recuperado de <https://infrastructure.gov.au/transport/programs/index.aspx>
- Valencia, V. (2000). *Principios de Semáforos.* Colombia.
- Vargas Vargas, Wilson. (2012). "*Ingeniería de tránsito Conceptos Básicos*".
- Verdezoto, T. Z. A., Montes, F. F. C., & Medina, O. B. R. (2020). *Análisis del congestionamiento vehicular para el mejoramiento de vía principal en Guayaquil-Ecuador.* Gaceta Técnica, 21(2), 4-23.

IX. ANEXOS

ANEXO N°01:

PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO N°02:

PLANO DE UBICACIÓN DE LA

INTERSECCIÓN

ANEXO N°03:

PLANO DE CODIFICACIÓN

ANEXO N°04:

VOLUMENES

ANEXO N°05:

FLUJO VEHICULAR

ANEXO N°06:

VELOCIDADES

ANEXO N°07:

CAPACIDAD VEHICULAR

ANEXO N°08:

NIVELES DE SERVICIO

ANEXO N°09:

TIEMPOS SEMAFORICOS ACTUALES

ANEXO N°10:

TIEMPOS SEMAFORICOS

CALCULADOS