

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“Optimización de la semaforización para la reducción de la
congestión vehicular en las intersecciones del puente Daniel
Alomía Robles, Huánuco – 2025”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

AUTORA: Bernabe Beteta, Marcia Sheyla

ASESORA: Boyanovich Ordoñez, Lili Tatiana

HUÁNUCO - PERÚ

2025

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Transporte
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Civil

Disciplina: Ingeniería Civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 74039424

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 41948561

Grado/Título: Maestra en gestión pública

Código ORCID: 0000-0003-1751-1336

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda	Máster en dirección de proyectos	73645168	0009-0001-0745-5433
2	Malpartida Valderrama, Yenerit Pamela	Grado de magíster en medio ambiente y desarrollo sostenible mención en gestión ambiental	22516875	0000-0003-2705-4300
3	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:00 horas del día viernes 19 de diciembre de 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

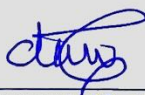
❖ MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA	PRESIDENTE
❖ MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA	SECRETARIO
❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 2799-2025-D-FI-UDH para evaluar la Tesis intitulada: "OPTIMIZACIÓN DE LA SEMAFORIZACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN LAS INTERSECCIONES DEL PUENTE DANIEL ALOMÍA ROBLES, HUÁNUCO - 2025", presentado por el (la) Bachiller. Bach: Marcia Sheyla BERNABE BETETA, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 12 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47).

Siendo las 09:05 pm horas del día 19 del mes de diciembre del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA
DNI: 73645168
ORCID: 0009-0001-0745-5433
PRESIDENTE



MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA
VALDERRAMA
DNI: 22516875
ORCID: 0000-0003-2705-4300
SECRETARIO (A)



MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO
DNI: 41891649
ORCID: 0000-0001-8392-1769
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: MARCIA SHEYLA BERNABE BETETA, de la investigación titulada "OPTIMIZACIÓN DE LA SEMAFORIZACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN LAS INTERSECCIONES DEL PUENTE DANIEL ALOMIA ROBLES, HUÁNUCO - 2025", con asesor(a) LILI TATIANA BOYANOVICH ORDOÑEZ, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1137-2025-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 11 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 19 de noviembre de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

158. Marcia Sheyla Bernabe Beteta .docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

2

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

"O cuidado em saúde baseado em evidências", Editora Cientifica Digital, 2023

Publicación

1%

4

repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

5

Submitted to Higher Education Commission Pakistan

Trabajo del estudiante

<1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por siempre acompañarme incluso en momentos donde las dudas y el temor fueron grandes.

A mis padres, pilares incansables de amor, sacrificio y apoyo incondicional, gracias a quienes aprendí que la perseverancia abre caminos imposibles.

Y a mis hermanos, compañeros de vida, que, con su confianza, ánimo y cariño hicieron más ligero este trayecto.

Este título de Ingeniero Civil no es solo mío, sino también de ustedes, porque en cada paso de mi formación estuvieron presentes, dándome la fuerza y la motivación para llegar hasta aquí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y la templanza para poder asumir este reto que parecía lejano, pero hoy en día fue posible conseguirlo.

A mi asesora de tesis Lili Tatiana, Boyanovich Ordoñez, por su guía, paciencia y valiosas orientaciones que hicieron posible la culminación de este trabajo de investigación, brindándome no solo conocimientos, sino también motivación para seguir creciendo como profesional.

A mis profesores del Programa Académico de Ingeniería Civil, quienes con dedicación y compromiso compartieron su experiencia y saber, forjando en mí las bases sólidas que hoy me permiten alcanzar este logro.

A la Universidad de Huánuco, institución que me acogió y formó con excelencia, brindándome las herramientas académicas y personales necesarias para desarrollarme como ingeniero civil.

Y a mis colegas de estudio, con quienes compartí largas jornadas de aprendizaje, esfuerzo y compañerismo, convirtiendo el camino académico en una experiencia enriquecedora y memorable.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	X
RESUMEN	XI
ABSTRAC	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	18
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	18
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.4.1 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	19
1.4.2 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	19
1.4.3 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	20
1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.6.1 VIABILIDAD TEÓRICA	21
1.6.2 VIABILIDAD ECONÓMICA	21

1.6.3 VIABILIDAD TEMPORAL.....	22
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	23
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	25
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES.....	27
2.2 BASES TEÓRICAS	28
2.2.1 TRÁFICO Y LA CONGESTIÓN VEHICULAR	28
2.2.2 MODELOS DE CONGESTIÓN	30
2.2.3 CURVAS FUNDAMENTAL DE TRÁFICO.....	31
2.2.4 INGENIERÍA DE TRÁFICO.....	32
2.2.5 DISEÑO DE INTERSECCIONES.....	33
2.2.6 MEDIDAS DE CONTROL DE TRÁFICO.....	34
2.2.7 EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO	35
2.2.8 VOLUMEN DE TRÁFICO.....	36
2.2.9 VELOCIDAD PROMEDIO DE VEHÍCULOS	37
2.2.10 DENSIDAD DE TRÁFICO	38
2.2.11 TIEMPO DE VIAJE PROMEDIO	39
2.2.12 SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE TRÁFICO (SYNCHRO)	40
2.2.13 MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM 2010)	43
2.2.14 NIVEL DE SERVICIO (LOS – LEVEL OF SERVICE).....	43
2.2.15 DEMORA Y TIEMPO DE VIAJE	43
2.2.16 FACTORES QUE AFECTAN LA CAPACIDAD	44
2.2.17 IMPORTANCIA Y APLICACIONES DEL HCM	44
2.2.18 SEMAFORIZACIÓN.....	45

2.2.19 OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE SEMÁFOROS	45
2.2.20 CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.....	46
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES	48
2.4 HIPÓTESIS	53
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	53
2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	54
2.5 VARIABLES.....	54
2.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	54
2.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE	54
2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	55
CAPÍTULO III	56
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	56
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	56
3.1.1 ENFOQUE	56
3.1.2 ALCANCE O NIVEL	56
3.1.3 DISEÑO	57
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	58
3.2.1 POBLACIÓN	58
3.2.2 MUESTRA.....	58
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	59
3.3.1 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	59
3.3.2 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	60
3.3.3 PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	61
.....	61
CAPÍTULO IV.....	62
RESULTADOS.....	62
4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	62

4.1.1 AFORO VEHICULAR.....	62
4.1.2 FACTORES DE CONVERSIÓN.....	62
4.1.3 PRIMERA INTERSECCIÓN EN ANÁLISIS.....	63
4.1.4 CONTEO VEHICULAR – PRIMERA INTERSECCIÓN	64
4.1.5 RESUMEN DE CONTEO PARA LA 1RA INTERSECCIÓN	70
4.1.6 ANÁLISIS EN SYNCHRO 11 - 1RA INTERSECCIÓN	71
4.1.7 SEGUNDA INTERSECCIÓN EN ANÁLISIS	78
4.1.8 CONTEO VEHICULAR – SEGUNDA INTERECCIÓN	79
4.1.9 RESUMEN DE CONTEO PARA LA 2DA INTERSECCIÓN	85
4.1.10 ANÁLISIS EN SYNCHRO 11 – 2DA INTERSECCIÓN	86
4.1.11 ANÁLISIS DE COSTOS POR SEMAFORIZACIÓN	93
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	96
CAPÍTULO V.....	102
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	102
5.1 CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	102
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
ANEXOS	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Unidades equivalentes por vehículo	622
Tabla 2 Conteo de vehículos 7:00 am - 8:00 am	64
Tabla 3 Conteo de vehículos 12:30 pm - 01:30 pm	65
Tabla 4 Conteo de vehículos 6:30 pm - 7:30 pm	65
Tabla 5 Conteo de vehículos 7:00 am - 8:00 am	66
Tabla 6 Conteo de vehículos 12:30 pm - 01:30 pm	67
Tabla 7 Conteo de vehículos 6:30 pm - 7:30 pm	67
Tabla 8 Conteo de vehículos 7:00 am - 8:00 am	688
Tabla 9 Conteo de vehículos 12:30 pm - 1:30 pm	69
Tabla 10 Conteo de vehículos 6:30 pm - 7:30 pm	69
Tabla 11 Resumen de conteo para la 1ra intersección en PCU	70
Tabla 12 Conteo de vehículos 7:00 am - 8:00 am	79
Tabla 13 Conteo de vehículos 12:30 pm - 1:30 pm	800
Tabla 14 Conteo de vehículos 6:30 pm - 7:30 pm	800
Tabla 15 Conteo de vehículos 7:00 am - 8:00 am	811
Tabla 16 Conteo de vehículos 12:30 pm - 1:30 pm	82
Tabla 17 Conteo de vehículos 12:30 pm - 1:30 pm	82
Tabla 18 Conteo de vehículos 7:00 am - 8:00 am	83
Tabla 19 Conteo de vehículos 12:30 pm - 1:30 pm	844
Tabla 20 Conteo de vehículos 6:30 pm - 7:30 pm	844
Tabla 21 Resumen de conteo para la 2da intersección en PCU.....	85
Tabla 22 Análisis presupuestal de la implementación del semáforo vehicular en el Puente San Sebastián.....	93
Tabla 23 Análisis presupuestal para la propuesta de implementación del semáforo vehicular en el Puente Daniel Alomía Robles	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista en planta de la intersección Av. El Bosque - Jr. Viña del Río	633
Figura 2 Direcciones de flujo vehicular de la primera intersección NO/SE	644
Figura 3 Direcciones de flujo vehicular de la primera intersección	666
Figura 4 Direcciones de flujo vehicular de la primera intersección NO/SO	688
Figura 5 Configuración de los carriles.....	71
Figura 6 Parámetros introducidos en el software.....	722
Figura 7 Resultados de configuración de semaforización inicial.....	733
Figura 8 Resultados de configuración de semaforización optimizada	744
Figura 9 Volumen de tráfico y nivel de servicio.....	755
Figura 10 Niveles de servicio optimizada por sentido de circulación	766
Figura 11 Tiempo de semaforización resultante	777
Figura 12 Vista en planta de la intersección Av. El Bosque - Jr. León de Huánuco.....	788
Figura 13 Direcciones de flujo vehicular de la segunda intersección SE/SO	799
Figura 14 Direcciones de flujo vehicular de la segunda intersección NO/NE	81
Figura 15 Direcciones de flujo vehicular de la segunda intersección SO/NE	833
Figura 16 Configuración de los carriles.....	866
Figura 17 Parámetros introducidos en Synchro 11	877
Figura 18 Resultados de configuración de semaforización inicial.....	888
Figura 19 Resultados de configuración de semaforización optimizada	899
Figura 20 Volumen de tráfico y nivel de servicio.....	90
Figura 21 Niveles de servicio optimizada por sentido de circulación	911
Figura 22 Tiempo de semaforización resultante	911

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1	Vista aérea de la zona de trabajo	1200
Fotografía 2	Puente Daniel Alomía Robles	120
Fotografía 3	1ra intersección del área de trabajo.....	121
Fotografía 4	2da intersección del área de trabajo	121
Fotografía 5	Conteo manual para 1 sentido de circulación.....	122
Fotografía 6	Conteo manual para 2 sentidos distintos de circulación	122
Fotografía 7	Conteo manual para 2 sentidos distintos de circulación	123
Fotografía 8	Conteo manual para 1 sentido de circulación	123
Fotografía 9	Conteo manual para 2 sentidos distintos de circulación	124
Fotografía 10	Conteo manual para 1 sentido de circulación	124
Fotografía 11	Conteo manual para 1 sentido de circulación	125
Fotografía 12	Conteo de vehículos para el 2 sentido con distintas circulaciones	125
Fotografía 13	Otra vista de recojo de datos para el 1 sentido de circulación	126
Fotografía 14	Conteo de vehículos para el 2 sentido de circulación	126
Fotografía 15	Conteo vehicular en 1 sentido de circulación en horas punta de la noche	127
Fotografía 16	Conteo manual para 1 sentido de circulación	127

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar cómo la implementación de un sistema de semaforización optimizado, modelado mediante el software Synchro, contribuye a la reducción de la congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles, en Huánuco – 2025. Para ello, se analizaron tres indicadores fundamentales del desempeño vial: los niveles de servicio (LOS), el tiempo de retardo por congestión vehicular y la capacidad de saturación del flujo. El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y diseño pre-experimental, realizando simulaciones comparativas antes y después de la propuesta de semaforización en dos intersecciones representativas, según los criterios técnicos del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010).

Los resultados muestran que la implementación semafórica optimizada generó mejoras relevantes en todas las variables analizadas. En cuanto a los niveles de servicio (LOS), en la primera intersección se mantuvo el nivel global en categoría C, pero con una distribución más equilibrada de los flujos por sentido, lo que redujo la desigualdad operativa. En la segunda intersección, se pasó de un nivel D (congestión moderada) a un nivel B (flujo estable), reflejando una mejora sustancial. Respecto al tiempo de retardo, se observó una reducción del 22.2 % en la primera intersección (de 31.1 a 24.2 segundos) y una disminución del 72.3 % en la segunda intersección (de 47.3 a 13.1 segundos), evidenciando una mayor fluidez vehicular. En cuanto a la capacidad de saturación, los valores bajaron de 0.86 a 0.83 en la primera intersección y de 1.15 a 0.84 en la segunda, lo que indica que se eliminó el estado de sobresaturación y se alcanzaron condiciones estables de operación.

En conclusión, la semaforización propuesta mediante Synchro demostró ser una estrategia eficaz para mejorar el flujo vehicular, y de esta manera reducir la congestión vehicular en las intersecciones analizadas. Se optimizó la operación vial reduciendo significativamente la congestión, los tiempos de espera y el nivel de saturación de la infraestructura. Estos resultados validan la hipótesis general del estudio y confirman que la

propuesta constituye una solución técnica viable para enfrentar los problemas de tráfico urbano en puntos críticos de la ciudad de Huánuco.

Palabras clave: Semaforización, Flujo vehicular, Synchro, Niveles de servicio (LOS), Congestión vial.

ABSTRAC

The present research aimed to evaluate how the implementation of an optimized traffic signalization system, modeled through Synchro software, contributes to improving traffic flow at intersections of the Daniel Alomía Robles Bridge in Huánuco – 2025. To achieve this, three fundamental indicators of roadway performance were analyzed: levels of service (LOS), delay time due to traffic congestion, and traffic flow saturation capacity. The study adopted a quantitative approach, with an explanatory level and a pre-experimental design, conducting comparative simulations before and after the proposed signalization at two representative intersections, following the technical criteria of the Highway Capacity Manual (HCM 2010).

The results show that the optimized signalization implementation generated relevant improvements in all analyzed variables. Regarding the levels of service (LOS), in the first intersection the overall level remained in category C, but with a more balanced distribution of flows by direction, which reduced operational inequality. In the second intersection, the level improved from D (moderate congestion) to B (stable flow), reflecting a substantial enhancement. Concerning delay time, there was a 22.2% reduction at the first intersection (from 31.1 to 24.2 seconds) and a 72.3% decrease at the second intersection (from 47.3 to 13.1 seconds), showing a greater traffic fluidity. Regarding saturation capacity, the values decreased from 0.86 to 0.83 at the first intersection and from 1.15 to 0.84 at the second, indicating that the oversaturation condition was eliminated and stable operating conditions were achieved.

In conclusion, the proposed signalization modeled with Synchro proved to be an effective strategy for improving traffic flow at the analyzed intersections. Roadway operation was optimized by significantly reducing congestion, waiting times, and infrastructure saturation levels. These results validate the general hypothesis of the study and confirm that the proposal represents a technically viable solution to address urban traffic problems at critical points in the city of Huánuco.

Keywords: Signalization, Traffic flow, Synchro, Level of Service (LOS), Traffic congestion.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado del parque automotor en las ciudades intermedias del Perú ha generado un incremento notable en los niveles de congestión vehicular, especialmente en zonas con infraestructura vial limitada y deficiente planificación del tránsito. La ciudad de Huánuco, en particular, enfrenta este fenómeno de manera crítica en puntos neurálgicos como las intersecciones adyacentes al Puente Daniel Alomía Robles, donde la falta de regulación semafórica eficiente contribuye a demoras significativas, conflictos entre flujos y riesgos viales constantes.

Frente a este contexto, surge la necesidad de implementar soluciones técnicas que permitan optimizar la operación del tránsito urbano y mejorar la movilidad general. Una de las alternativas más efectivas y de bajo costo es la implementación de sistemas de semaforización diseñados con base en datos reales de demanda vehicular, que permitan asignar los tiempos de paso de manera equitativa y estratégica. En este sentido, el uso de herramientas de simulación como Synchro 11 proporciona una plataforma robusta para modelar intersecciones, evaluar niveles de servicio (LOS), y proponer mejoras ajustadas a las condiciones específicas del entorno vial.

Esta investigación tiene como objetivo principal optimizar los niveles de servicio de las intersecciones vinculadas al puente Daniel Alomía Robles mediante una propuesta de semaforización optimizada, buscando mejorar el flujo vehicular reduciendo la congestión vehicular, reducir tiempos de espera y elevar el desempeño operativo del sistema vial. A través de una metodología basada en el levantamiento de datos en campo, simulación computacional y análisis normativo conforme al Highway Capacity Manual (HCM), se espera generar una propuesta viable que pueda ser implementada por las autoridades locales como parte de una política integral de movilidad urbana sostenible.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La congestión vehicular es un problema global que afecta tanto a las ciudades desarrolladas como a las en desarrollo. En muchos lugares del mundo, el aumento del parque automotor, el crecimiento poblacional y la expansión urbana sin una adecuada planificación han llevado a niveles críticos de congestión. Las ciudades de países como Estados Unidos, China, India y varios países europeos enfrentan diariamente largos tiempos de espera, aumento en la contaminación del aire y mayor estrés para los conductores y peatones (Pinto y Cruz, 2024).

Soluciones innovadoras, como el uso de software de simulación de tráfico, se han implementado en diversas partes del mundo para mitigar estos problemas. Programas como Synchro permiten a los planificadores urbanos y a los ingenieros de tránsito modelar y optimizar el flujo vehicular, mejorando la eficiencia de las intersecciones y reduciendo la congestión.

En Perú, la situación no es diferente. Las principales ciudades del país, como Lima, Arequipa y Trujillo, experimentan altos niveles de congestión vehicular debido al crecimiento económico, la urbanización acelerada y el incremento en el número de vehículos. El tráfico en estas ciudades resulta en tiempos de viaje prolongados, mayor consumo de combustible y una alta incidencia de accidentes de tránsito (Mendoza, 2023).

El gobierno peruano ha iniciado diversas medidas para abordar estos problemas, incluyendo la implementación de sistemas de transporte masivo, la ampliación de la infraestructura vial y la adopción de tecnologías avanzadas para la gestión del tráfico. Sin embargo, muchas ciudades medianas y pequeñas, como Huánuco, aún enfrentan desafíos significativos en la gestión del tránsito debido a la falta de recursos y planificación adecuada.

Huánuco, una ciudad en crecimiento en la región central del Perú, no es ajena a los problemas de congestión vehicular, especialmente en los puntos que conectan distritos, siendo los puentes los principales focos de congestión vehicular.

El principal puente que conectaba el distrito de Huánuco con el distrito de Pillco Marca era el puente Balta o puente Tingo. Este puente estuvo en funcionamiento desde su inauguración en 1872 pero, debido a su construcción hecha con piedra canto y una mezcla de arena, cal y claras de huevos; no fue suficiente para soportar el paso de los vehículos que transitan diariamente en esta importante vía por lo que, fue declarado Patrimonio Cultural de la Nación el 17 de julio del 2007.

A raíz de este acontecimiento, se construye el puente Daniel Alomía Robles a aproximadamente 390 metros en dirección noroeste al puente Balta. Esta construcción fue hecha pensando en el flujo vehicular de ese entonces, pero debido al crecimiento poblacional, la cantidad de vehículos que transitan diariamente también ha aumentado. Las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles son particularmente problemáticas, con largas colas de vehículos y tiempos de espera que afectan negativamente la calidad de vida de los residentes y la eficiencia del transporte.

El aumento del número de vehículos y la falta de un sistema de semaforización adecuado contribuyen significativamente a estos problemas. Los conductores experimentan demoras, y los peatones enfrentan riesgos al cruzar las calles congestionadas. Además, la falta de coordinación en las intersecciones agrava la situación, creando un entorno inseguro tanto para los conductores como para los peatones.

Por lo tanto, siendo este puente la principal conexión entre los distritos de Huánuco y Pillco Marca, la presente investigación busca la reducción de la congestión vehicular por medio de la optimización de la semaforización en las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles en la ciudad de Huánuco.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera la optimización de un sistema de semaforización influye en la reducción de la congestión vehicular en las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles, Huánuco?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

PE1: ¿Cómo impacta la semaforización en los niveles de servicio (LOS) de la congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles?

PE2: ¿Qué variaciones presenta la semaforización en el tiempo de retardo por congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles?

PE3: ¿Cómo la propuesta de semaforización impacta en la capacidad de saturación por congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar cómo la implementación de un sistema de semaforización optimizado influye en la reducción de la congestión vehicular entre las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles en Huánuco.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1: Determinar cómo impacta la semaforización en los niveles de servicio (LOS) de la congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.

OE2: Analizar qué variaciones presenta la semaforización en el tiempo de retardo por congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.

OE3: Determinar cómo la propuesta de semaforización impacta en la capacidad de saturación por congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La congestión vehicular en las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles en Huánuco representa un desafío significativo para la movilidad urbana, afectando tanto a conductores como a peatones. La implementación de un sistema de semaforización optimizado mediante el uso del software Synchro tiene múltiples beneficios prácticos. En primer lugar, permitirá reducir los tiempos de espera de los vehículos, mejorando la eficiencia en los desplazamientos diarios. En segundo lugar, mejorará la seguridad vial al reducir el riesgo de accidentes y proporcionar cruces más seguros para los peatones. Además, la disminución del tiempo que los vehículos pasan en ralentí contribuirá a reducir la emisión de gases contaminantes, mejorando la calidad del aire en la ciudad. Por último, una circulación más fluida y segura mejorará la calidad de vida de los residentes al reducir el estrés asociado con los desplazamientos diarios y al hacer más eficiente el uso del tiempo.

1.4.2 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La congestión vehicular y sus soluciones se enmarcan dentro de diversas teorías y modelos de ingeniería de tráfico y transporte. La teoría de la fluidez del tráfico se centra en cómo los vehículos se mueven y se comportan en una red vial; la semaforización optimizada busca mejorar la fluidez del tráfico al minimizar las interrupciones y maximizar la capacidad de las intersecciones. Los modelos de simulación de tráfico, como Synchro, permiten predecir y evaluar el impacto de diferentes configuraciones de semáforos antes de su implementación real, proporcionando una base científica para la toma de decisiones. Además, la teoría del comportamiento del conductor es crucial para entender cómo los conductores reaccionan a los semáforos y a las condiciones

del tráfico, lo que permite diseñar sistemas que mejoren la seguridad y la eficiencia.

1.4.3 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La metodología para implementar la semaforización en las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles se basa en un enfoque sistemático y riguroso. Primero, se recopilarán datos detallados sobre el flujo vehicular, incluyendo volúmenes de tráfico, tiempos de espera y patrones de movimiento en las intersecciones en estudio. Luego, se simularán diversas configuraciones de semaforización utilizando Synchro para evaluar el impacto de cada configuración en la reducción de la congestión y la mejora de la seguridad. A partir de los resultados de las simulaciones, se identificarán las configuraciones de semáforos más eficientes, optimizando los tiempos de los ciclos de semáforos para lograr un flujo óptimo de tráfico. Las configuraciones óptimas se implementarán en las intersecciones y se realizará el monitoreo de su desempeño para asegurar que los objetivos de reducción de congestión y mejora de la seguridad se cumplan. Finalmente, se llevará a cabo una evaluación continua después de la implementación para ajustar y mejorar la semaforización según sea necesario, utilizando nuevamente Synchro para realizar ajustes basados en datos reales.

1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación presenta varias limitaciones que deben ser consideradas. En primer lugar, la precisión de los datos recolectados sobre el flujo vehicular puede verse afectada por variaciones diarias y estacionales en el tráfico, lo que podría influir en la exactitud de las simulaciones realizadas con Synchro. Además, la implementación de las configuraciones de semaforización óptimas identificadas en las simulaciones puede enfrentarse a restricciones presupuestarias y de infraestructura local, lo que podría limitar su efectividad. También es posible que haya resistencia por parte de la comunidad y los conductores a los cambios en las intersecciones, lo que podría afectar la aceptación y el éxito de la semaforización propuesta.

Finalmente, la evaluación continua y los ajustes necesarios después de la implementación requieren recursos y tiempo adicional, lo que podría prolongar el periodo para alcanzar los resultados deseados. A pesar de estas limitaciones, se espera que la investigación proporcione una base sólida para mejorar la gestión del tráfico en Huánuco y otras ciudades similares.

1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 VIABILIDAD TEÓRICA

La viabilidad teórica de esta investigación está respaldada por la aplicación de principios y modelos ampliamente aceptados en la ingeniería de tráfico y transporte. El uso del software Synchro, que es una herramienta probada y utilizada globalmente para la simulación y optimización de tráfico, garantiza que las configuraciones de semaforización propuestas se basen en fundamentos científicos y técnicos sólidos. Además, la integración de teorías de fluidez del tráfico y comportamiento del conductor proporciona un marco teórico robusto que respalda la capacidad de la investigación para mejorar la gestión del tráfico en las intersecciones estudiadas.

1.6.2 VIABILIDAD ECONÓMICA

La viabilidad económica del proyecto es favorable debido a varios factores. Aunque la implementación de un sistema de semaforización implica ciertos costos iniciales, como la adquisición del software Synchro y la instalación de semáforos, estos gastos se compensan con los beneficios a largo plazo. La reducción de la congestión vehicular y los tiempos de espera disminuirá el consumo de combustible y los costos asociados, mientras que la mejora en la seguridad vial puede reducir los costos relacionados con accidentes de tráfico. Además, una mejor fluidez del tráfico puede fomentar la actividad económica local al hacer que los desplazamientos sean más eficientes. Es probable que el retorno de la inversión se vea en un plazo relativamente corto debido a estas mejoras.

1.6.3 VIABILIDAD TEMPORAL

La viabilidad temporal del proyecto es manejable y puede estructurarse en fases claramente definidas. La recopilación de datos sobre el flujo vehicular puede realizarse en un período de pocas semanas, seguido de la fase de simulación y análisis con Synchro, que puede completarse en uno o dos meses. La implementación de las configuraciones de semaforización óptimas identificadas podría llevarse a cabo en un período de varios meses, dependiendo de las condiciones locales y la disponibilidad de recursos. Finalmente, la evaluación continua y los ajustes necesarios se pueden realizar en paralelo con la implementación, permitiendo una mejora progresiva del sistema de tráfico en un plazo razonable. En total, se prevé que el proyecto pueda completarse en un período de aproximadamente de seis meses, considerando todas las etapas y posibles contingencias.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Pinto y Cruz (2024) en el estudio titulado “Propuesta de solución técnica a la congestión vehicular presentada en la carrera 6 entre calle 3 sur y calle 10 sur en el municipio de Cajicá, mediante modelación y microsimulación con software multimodal del tránsito” en la Universidad La Gran Colombia tiene como objetivo principal ofrecer una solución técnica para la congestión vehicular en la carrera 6, entre las calles 3 sur y 10 sur del municipio de Cajicá, utilizando herramientas de modelación y microsimulación con software multimodal de tránsito. La metodología empleada consistió en un enfoque de simulación multimodal, que incluyó la creación de un modelo virtual detallado de la zona, la microsimulación del comportamiento de cada vehículo y el análisis de diferentes escenarios de intervención, como ajustes en los tiempos de los semáforos y la implementación de carriles exclusivos. Los resultados permitieron identificar los principales cuellos de botella y las causas de la congestión, evaluando la efectividad de las alternativas propuestas, como la optimización de la señalización y la sincronización de los semáforos. En conclusión, los autores destacaron que la simulación multimodal es una herramienta valiosa para el análisis de problemas de congestión vehicular, identificando las principales causas en la carrera 6 y sugiriendo medidas para mejorar la movilidad en la zona.

Yasig Villamar (2024) en su estudio titulado “Evaluación de la intersección de la avenida Joffre Lima y José Coronel mediante programas informáticos para determinar la congestión vehicular y accidentes de tránsito” en la Universidad Técnica de Machala tiene como objetivo principal evaluar la seguridad vial en la intersección de las avenidas Joffre Lima y José Coronel, en el Cantón Santa Rosa. Para

ello, se utilizaron programas informáticos para medir los niveles de congestión vehicular y la frecuencia de accidentes en la zona. La metodología incluyó una revisión bibliográfica exhaustiva de estudios sobre intersecciones y seguridad vial, el análisis de la situación actual mediante la recolección de datos sobre señales de tránsito, pavimento, reductores de velocidad y geometría de la intersección, y la modelación con software especializado para simular el flujo vehicular. Los resultados permitieron identificar los principales problemas en la intersección, como los puntos críticos de congestión y accidentes, deficiencias en la señalización que generaban confusión entre los conductores, y el deterioro del pavimento que incrementaba los riesgos para los vehículos. Los autores concluyen que la intersección enfrenta problemas de seguridad vial debido a una combinación de señalización inadecuada, pavimento deteriorado y una geometría de intersección inapropiada.

Bravo et al. (2021) en su tesis titulada “Modelación de tránsito para la semaforización de la intersección vial. Avenida carrera 23 con calle 15, en el municipio de Acacias – Meta” de la Universidad Cooperativa de Colombia, tuvieron como objetivo principal mejorar la movilidad y la seguridad vial en la intersección de la carrera 23 con la calle 15. Para lograrlo, se plantearon objetivos específicos, que incluyeron la modelación del problema mediante el software VISSIM para entender la situación actual en la intersección y la evaluación de la viabilidad de implementar semáforos como posible solución. Los resultados mostraron que la instalación de semáforos podría ser una estrategia efectiva para optimizar la movilidad en la intersección. Además, se identificaron los momentos de máxima demanda vehicular y se propusieron tiempos de ciclo adecuados para los semáforos. En conclusión, el proyecto demostró que la modelación del tránsito y la instalación de semáforos pueden mejorar significativamente la gestión del tráfico en intersecciones viales, reduciendo riesgos de impactos y aumentando la seguridad para los usuarios de la vía.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

León Vallejo (2020) en su tesis titulada “Soluciones de tránsito en alta congestión vehicular de intersecciones urbanas. Una revisión sistemática entre 2010-2020”. De la Universidad Privada del Norte, tiene como objetivo identificar las principales soluciones de tránsito implementadas entre 2010 y 2020 para mitigar la congestión vehicular en intersecciones urbanas, así como analizar su efectividad mediante estudios y modelos de simulación. Se pretende contribuir al conocimiento sobre la gestión del tráfico en intersecciones proporcionando una visión general de las tendencias y enfoques recientes. La metodología empleada incluyó una revisión sistemática de bases de datos académicas para encontrar artículos relevantes, aplicando criterios rigurosos de selección basados en fecha, idioma, enfoque y calidad metodológica. Los resultados mostraron una variedad de soluciones, como la semaforización inteligente, la gestión de la demanda, la optimización geométrica de intersecciones y el uso de tecnologías de información y comunicación. Los estudios revisados utilizaron modelos de simulación para evaluar el impacto de estas soluciones en el flujo de tráfico y la congestión, además de los niveles de servicio percibidos por los usuarios. En conclusión, la congestión vehicular en intersecciones urbanas es un problema complejo que requiere soluciones integradas y multimodales. Las tecnologías de la información y comunicación tienen un gran potencial para mejorar la eficiencia del transporte, y es crucial evaluar la efectividad de las soluciones para tomar decisiones informadas. Se recomienda continuar investigando y desarrollando nuevas soluciones para enfrentar los desafíos de la movilidad urbana en un entorno de creciente urbanización.

Mendoza Gonzales (2023) en su investigación titulada “La gestión de tránsito urbano para reducir la congestión vehicular en la ciudad de Chiclayo”. De la Universidad César Vallejo, tuvo como objetivo proponer un plan de gestión del tránsito urbano para reducir la congestión vehicular en la ciudad de Chiclayo. Para lograrlo, se empleó una

metodología cuantitativa, con un enfoque de estudio básico basado en la teoría fundamentada. La investigación se clasificó como no experimental descriptiva con propuesta, y se utilizó la estadística como herramienta para procesar y analizar los datos obtenidos. Los instrumentos fueron validados a través del criterio de expertos. Los resultados se obtuvieron mediante encuestas realizadas a 100 peatones y conductores de Chiclayo. La encuesta abordó la variable congestión vehicular en relación con las dimensiones de eficiencia, eficacia, factor humano y ambiental. Los datos mostraron que el 51% de los encuestados se ubicó en el nivel alto de congestión, mientras que el 49% se situó en el nivel medio. Estos hallazgos indicaron la existencia de un problema significativo en las principales vías de Chiclayo. La investigación concluyó que había un problema de congestión vehicular en las principales vías de Chiclayo. Como aporte, se propuso una mejora en la infraestructura vial y la implementación de un sistema semafórico en el óvalo Belaunde, con el objetivo de generar un tránsito más seguro y eficiente para los usuarios de la ciudad.

Canta y Ordoñez (2023) en su tesis titulada “Dispositivos de control de tránsito para reducir la congestión vehicular en intersecciones”. De la Universidad Ricardo Palma, tuvieron como objetivo principal, evaluar la efectividad de diversos dispositivos de control de tránsito en la reducción de la congestión vehicular en intersecciones. Se buscó determinar cuáles de estos dispositivos ofrecían los mejores resultados en términos de fluidez vehicular y disminución de tiempos de espera. Los resultados obtenidos variaron según el dispositivo de control de tránsito analizado y las características específicas de cada intersección. En general, se halló que la implementación de dispositivos como la semaforización inteligente, que ajusta los tiempos de luz verde en función de la demanda vehicular en tiempo real, y los detectores de vehículos, que ayudan a optimizar la asignación de tiempos de luz, contribuyó a una reducción significativa de los tiempos de espera en las intersecciones estudiadas. Asimismo, las cámaras de vigilancia facilitaron la monitorización del tráfico y la

identificación de incidentes que podrían generar congestión, contribuyendo también a la disminución de la congestión vehicular. Se concluyó que la elección del dispositivo de control de tránsito adecuado depende de varios factores, incluyendo el volumen de tráfico, la geometría de la intersección y las características de los usuarios de la vía. No obstante, la implementación de sistemas de control de tráfico inteligentes, que se basan en la detección de vehículos y la optimización de los tiempos de señalización, demostró ser una estrategia efectiva para mejorar la fluidez del tráfico en las intersecciones urbanas.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

Jara Rojas (2024) en su estudio titulado “Análisis de la congestión vehicular en la Avenida Universitaria Cayhuayna-Pillcomarca y simulación del funcionamiento de las vías alternas para optimizar el nivel de servicio-2022”. Universidad de Huánuco. Tuvo como objetivo principal identificar y analizar los factores que provocan la congestión vehicular en la Avenida Universitaria, particularmente en el tramo entre Cayhuayna y Pillcomarca. Basándose en este análisis, se buscó proponer y evaluar alternativas de rutas para mejorar el flujo vehicular y optimizar el nivel de servicio en esta vía. Para llevar a cabo el estudio, se empleó una metodología que incluyó la recolección de datos mediante técnicas de recuento de vehículos para obtener información sobre el volumen de tráfico, la velocidad y otros parámetros relevantes. Luego, los datos fueron analizados para identificar los puntos críticos de congestión, los horarios pico y los factores que afectan el flujo vehicular. Posteriormente, se utilizaron modelos de simulación para evaluar el desempeño de distintas alternativas de rutas y determinar cuál ofrecía la mejor solución para reducir la congestión. Los resultados revelaron los principales factores de congestión en la Avenida Universitaria, como el alto volumen de tráfico durante las horas pico, la existencia de intersecciones semaforizadas que generan cuellos de botella y la presencia de vehículos estacionados en zonas no permitidas. A partir de estos hallazgos, se propusieron y evaluaron diversas alternativas de rutas,

considerando aspectos como la distancia, el tiempo de viaje y la capacidad de las vías. En conclusión, el estudio demostró que la congestión vehicular en el tramo Cayhuayna-Pillcomarca de la Avenida Universitaria es un problema significativo que afecta la movilidad. Los factores que contribuyen a la congestión son variados y están interrelacionados. La implementación de rutas alternativas se presenta como una solución efectiva para reducir la congestión y mejorar el nivel de servicio en la zona, y la simulación de tráfico se mostró como una herramienta valiosa para evaluar las diferentes opciones antes de su implementación.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 TRÁFICO Y LA CONGESTIÓN VEHICULAR

El tráfico vehicular se ha convertido en un tema prioritario para las ciudades modernas, especialmente en aquellas con un crecimiento urbano acelerado y un parque automotor en expansión. La inadecuada planificación urbana, la escasa inversión en infraestructura vial y el bajo uso de transporte público eficiente contribuyen significativamente al incremento de la congestión. En este contexto, la gestión del tráfico implica el uso de técnicas y herramientas que buscan optimizar la movilidad, minimizar las demoras y mejorar la calidad de vida urbana. A través de tecnologías como los sistemas inteligentes de transporte (ITS), se ha comenzado a incorporar soluciones dinámicas para enfrentar estos retos, tales como la sincronización semafórica adaptativa, la gestión de carriles reversibles y la detección temprana de incidentes (Falcocchio Levinson, 2015).

Además, se ha demostrado que la congestión vehicular tiende a comportarse de manera no lineal, es decir, pequeños incrementos en la demanda pueden provocar efectos desproporcionadamente grandes en el tiempo de viaje. Este comportamiento resalta la importancia de conocer el umbral de capacidad de una vía, más allá del cual el sistema pierde eficiencia. Factores como la fricción lateral, el número de accesos

no controlados, y las maniobras de giro afectan significativamente este umbral y, por lo tanto, deben considerarse en cualquier análisis riguroso de tráfico (Falcocchio Levinson, 2015).

Donde la ecuación fundamental del flujo de tráfico es:

$$q=k.v$$

Donde:

q = el flujo

k = la densidad

v = la velocidad.

Uno de los principales desafíos en el análisis de tráfico es la heterogeneidad vehicular, es decir, la coexistencia de diferentes tipos de vehículos (autos particulares, motocicletas, camiones, buses, entre otros) con características físicas y operativas distintas. Esta variedad influye en la velocidad de operación, el espacio ocupado y la capacidad efectiva de las vías. Por lo tanto, para lograr estimaciones más realistas del tráfico, es necesario emplear factores de equivalencia vehicular, como los vehículos equivalentes de pasajeros. Por otro lado, el crecimiento descontrolado de zonas urbanas ha generado una mayor dependencia del automóvil particular, reduciendo la eficiencia del sistema vial existente. En ausencia de políticas de control de la demanda, como zonas de acceso restringido o tarifas por congestión, la expansión de la red vial resulta insuficiente para absorber la creciente demanda. Este fenómeno, conocido como demanda inducida, plantea que construir más vías no necesariamente reduce la congestión, sino que puede, en ciertos casos, incentivarla aún más (Cárdenas Grisales, 2013).

La congestión también debe evaluarse desde la perspectiva del usuario. Estudios recientes han identificado que la percepción de los conductores sobre el tiempo de viaje influye en sus decisiones de ruta y horario. Esta percepción está sujeta a factores como la variabilidad del tráfico, el acceso a información en tiempo real y la experiencia personal

previa. En este sentido, las aplicaciones móviles de navegación y monitoreo de tráfico han cambiado significativamente el comportamiento de los usuarios, quienes ahora pueden ajustar su trayectoria para evitar zonas congestionadas (Bull, 2003).

2.2.2 MODELOS DE CONGESTIÓN

Los modelos de congestión permiten simular diferentes escenarios de tráfico y entender las condiciones bajo las cuales se desencadena una congestión severa. Estos modelos no solo ayudan a identificar los puntos críticos de una red vial, sino también a predecir los efectos de posibles intervenciones, como la ampliación de carriles o la reubicación de paraderos. Modelos como el de Greenberg o el de Underwood han sido fundamentales para describir el comportamiento del tráfico bajo distintas condiciones de densidad, permitiendo representar de forma más realista el flujo vehicular (Plata y Ramírez, 2018).

Existen modelos deterministas y estocásticos, donde los primeros suponen condiciones predecibles y constantes, mientras que los segundos incorporan la incertidumbre inherente al comportamiento humano y las condiciones del entorno. Estos modelos se complementan con datos observacionales o simulados que permiten calibrar sus parámetros y ajustarlos a escenarios locales. En contextos urbanos, donde la complejidad es mayor, los modelos híbridos han demostrado ser eficaces al combinar teoría del tráfico con inteligencia artificial y machine learning. Además, los modelos de congestión son esenciales para realizar simulaciones antes de ejecutar intervenciones en la infraestructura. Por ejemplo, permiten comparar distintos esquemas de semaforización, evaluar la eficacia de un by-pass o prever el impacto de un evento masivo. Estos modelos también ayudan en la toma de decisiones sobre políticas públicas, como la implementación de restricciones vehiculares por número de placa o el cobro por congestión (Carre y Carreño, 2012).

Cabe destacar que algunos modelos recientes incorporan la movilidad peatonal y ciclista, reconociendo que el espacio vial es compartido y que los modos de transporte no motorizados también influyen en el flujo vehicular. Estos modelos multimodales permiten un enfoque más inclusivo y sostenible, alineado con los principios de movilidad urbana moderna. Con el auge del big data, los modelos de congestión ahora pueden alimentarse con información en tiempo real proveniente de sensores, cámaras, redes de telefonía móvil y aplicaciones de geolocalización. Esto permite generar modelos predictivos más precisos y actualizar continuamente los parámetros del sistema, posibilitando una gestión dinámica del tráfico basada en eventos reales (Motta, 2002).

2.2.3 CURVAS FUNDAMENTAL DE TRÁFICO

Las curvas fundamentales de tráfico permiten establecer umbrales críticos de operación para una vía específica. Por ejemplo, permiten identificar el punto de capacidad máxima, que es donde se logra el mayor flujo vehicular antes de que la velocidad se vea comprometida por un aumento en la densidad. Este tipo de análisis es fundamental para diseñar vías urbanas y rurales, y para determinar la necesidad de obras complementarias, como rampas de aceleración o vías alternas (Ortúzar y Willumsen, 2008).

La forma y pendiente de estas curvas varían dependiendo del tipo de vía (urbana, rural, autopista), la topografía, las condiciones climáticas y el comportamiento típico de los conductores. En este sentido, la calibración empírica de estas curvas es vital para que los modelos de tráfico reflejen adecuadamente la realidad. Además, permiten definir el nivel de servicio (LOS) de una vía, que clasifica la calidad de operación del tráfico desde el nivel A (flujo libre) hasta el nivel F (congestión severa). Una aplicación práctica de las curvas fundamentales es en la evaluación de medidas de mitigación del tráfico, como la implementación de carriles exclusivos para buses o bicicletas. Al representar los cambios en la densidad y el flujo posterior a la intervención, se puede comprobar

si la medida mejoró o empeoró la eficiencia del sistema. También son útiles en la gestión de emergencias, al estimar cuánta carga vehicular puede soportar una vía alterna sin colapsar ante un cierre vial (Schifter y López, 2013).

El análisis de estas curvas permite determinar la elasticidad del flujo respecto a la velocidad, lo que ayuda a estimar cómo responde el sistema ante cambios pequeños en la densidad. Esta información es relevante en el diseño de estrategias de control como límites de velocidad variables, acceso controlado a autopistas o priorización de transporte público en intersecciones críticas. Por lo tanto, las curvas fundamentales también sirven como referencia para evaluar nuevas tecnologías vehiculares, como los vehículos autónomos. Se ha observado que estos vehículos, al mantener distancias constantes y operar con mayor previsibilidad, podrían desplazar las curvas tradicionales, incrementando la capacidad de las vías y reduciendo el riesgo de congestión. Sin embargo, esto depende de su penetración en el mercado y su interacción con vehículos conducidos por humanos (Plata y Ramírez, 2018).

2.2.4 INGENIERÍA DE TRÁFICO

La ingeniería de tráfico es la rama técnica encargada de estudiar los principios que rigen el flujo vehicular y el comportamiento de los usuarios en la vía, con el fin de optimizar la movilidad, reducir accidentes y garantizar la sostenibilidad del sistema de transporte. Su propósito es gestionar el tránsito en las ciudades mediante el diseño, la regulación y el control de la infraestructura vial, enfocándose en una movilidad segura, fluida y eficiente. Esta disciplina combina conocimientos de geometría vial, análisis de datos, psicología del conductor, políticas públicas y tecnología aplicada. Mediante simulaciones, modelos matemáticos y herramientas de recolección de datos, permite identificar los puntos críticos de una red vial, evaluar la funcionalidad de intersecciones, determinar necesidades de mejora y proponer soluciones basadas en evidencia. El enfoque moderno de la ingeniería

de tráfico también promueve la movilidad multimodal, incluyendo peatones, ciclistas y transporte público, dentro de una planificación integral (Alvarenga, 2021).

Uno de los objetivos principales de la ingeniería de tráfico es reducir el impacto de la congestión y sus consecuencias, como la pérdida de tiempo, el aumento de accidentes y el deterioro ambiental. Por ello, interviene tanto en el diseño físico de las vías como en la implementación de estrategias de control operativo, como semáforos inteligentes, carriles preferenciales, medidas de calmado de tráfico, o sistemas de peaje urbano. De este modo, se busca no solo resolver problemas existentes, sino anticipar futuras demandas en un entorno urbano dinámico (Carreño Dueñas, 2012).

2.2.5 DISEÑO DE INTERSECCIONES

El diseño de intersecciones es un aspecto crucial dentro de la ingeniería de tráfico, ya que es en estos puntos donde se concentran los mayores niveles de interacción entre vehículos, peatones y ciclistas. Un diseño adecuado permite minimizar conflictos, reducir demoras y aumentar la seguridad. Las decisiones de diseño involucran la elección del tipo de intersección (controlada por semáforo, glorieta, cruce a nivel), el número y tipo de carriles, radios de giro, pendientes y visibilidad. También se deben considerar las fases de los semáforos y el diseño de los ciclos de operación para maximizar la eficiencia. En intersecciones urbanas, es importante prever áreas de espera seguras para peatones, rampas de accesibilidad, tiempos exclusivos para cruce peatonal y, en algunos casos, prioridad semafórica para transporte público. Las intersecciones deben adaptarse a la jerarquía vial, el volumen de tráfico y la presencia de usuarios vulnerables, con un diseño que minimice las maniobras complejas y ofrezca señalización clara (Vargas Vargas, 2022).

Un mal diseño puede generar problemas como vueltas conflictivas, embotellamientos, riesgo de accidentes o un uso ineficiente

del espacio vial. Por ello, se utilizan herramientas como la simulación en software especializado (por ejemplo, VISSIM o Synchro) para prever el comportamiento del tráfico en diferentes configuraciones geométricas. Este análisis permite anticipar cuellos de botella, estimar los niveles de servicio (LOS) y proponer alternativas que favorezcan una circulación más segura y fluida. Además, las intersecciones deben diseñarse considerando la proyección del crecimiento poblacional y del parque vehicular. El diseño debe permitir futuras ampliaciones o adaptaciones sin requerir una reconstrucción completa, lo cual implica pensar no solo en las condiciones actuales, sino en la evolución futura de la zona urbana o carretera (Sañay Sanaicela, 2023).

2.2.6 MEDIDAS DE CONTROL DE TRÁFICO

Las medidas de control de tráfico son herramientas que buscan regular el comportamiento de los conductores y usuarios para garantizar un flujo eficiente y seguro. Estas medidas pueden ser pasivas, como señales verticales y marcas viales, o activas, como semáforos, sensores de ocupación, controladores automáticos y paneles de información variable. Su aplicación está directamente relacionada con las condiciones específicas de cada vía y con los objetivos que se buscan alcanzar: seguridad, ordenamiento o reducción de congestión. La sincronización semafórica, por ejemplo, es una medida eficaz para mejorar la fluidez del tráfico en corredores urbanos. Cuando está bien implementada, reduce significativamente los tiempos de espera, minimiza las paradas innecesarias y disminuye las emisiones contaminantes por arranques frecuentes. Este tipo de medida requiere una calibración constante basada en conteos vehiculares y datos de flujo horario (Prudencio y Flores, 2011).

Otras estrategias de control incluyen los carriles exclusivos para buses, que priorizan el transporte público y mejoran su regularidad y puntualidad. Asimismo, existen medidas restrictivas como el control de accesos a ciertas zonas, el cobro por congestión, o las zonas de bajas emisiones, que regulan qué tipos de vehículos pueden ingresar a

determinadas áreas. Estas medidas tienen como objetivo modificar la demanda y fomentar modos de transporte más sostenibles. En los últimos años, el uso de tecnologías inteligentes ha revolucionado el control del tráfico. Los sistemas ITS (Intelligent Transport Systems) permiten una gestión centralizada y dinámica del tránsito, recopilando datos en tiempo real y adaptando las condiciones operativas (por ejemplo, cambiando el tiempo de los semáforos o activando rutas alternas) de acuerdo con la situación en la vía. Esto es especialmente útil en casos de accidentes, obras viales o eventos masivos, donde la demanda cambia rápidamente (Pinto y Cruz, 2024).

2.2.7 EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

La evaluación del desempeño del sistema vial se basa en indicadores que permiten medir su eficiencia y calidad de servicio. Entre los más importantes destacan el tiempo promedio de espera en intersecciones, la longitud de colas, el número de ciclos semafóricos por cruce, y el nivel de servicio (LOS). Estos indicadores se calculan a partir de datos recolectados en campo o mediante simulación, y permiten comparar diferentes alternativas de diseño o estrategias de gestión. El nivel de servicio es una medida cualitativa que clasifica las condiciones de operación del tráfico en una escala de A (flujo libre) a F (congestión severa), y es ampliamente utilizada en estudios de factibilidad y planificación vial. También se utiliza como referencia normativa para determinar si una vía necesita ser ampliada o reconfigurada. Por ejemplo, una intersección con LOS “E” o “F” en hora pico podría justificar una intervención inmediata (Contreras Mojica et al., 2011).

El análisis de desempeño no solo considera a los vehículos particulares, sino también a peatones, ciclistas y transporte público. Esto permite realizar evaluaciones más integrales, especialmente en zonas urbanas densas donde la movilidad es compartida. En estos casos, puede haber conflictos entre eficiencia vehicular y seguridad peatonal, lo que requiere un balance adecuado. Y el uso de software como HCS (Highway Capacity Software) o SIDRA permite realizar simulaciones

detalladas del comportamiento en intersecciones y corredores, permitiendo calcular indicadores de desempeño con mayor precisión. Esto facilita la toma de decisiones basada en datos y reduce los errores de diseño en etapas tempranas del proyecto (Jara Rojas, 2024).

2.2.8 VOLUMEN DE TRÁFICO

El volumen de tráfico es uno de los parámetros fundamentales para el diseño, la gestión y el mantenimiento de la infraestructura vial. Representa el número de vehículos que transitan por un punto específico durante un periodo determinado, y puede expresarse como Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), Tráfico Horario de Diseño (THD) o volumen por hora pico. Su análisis permite dimensionar adecuadamente el número de carriles, la señalización y el tipo de control necesario para una vía. Este parámetro es altamente variable y depende de factores como el uso del suelo, el horario, la temporada del año, y eventos imprevistos. En zonas comerciales, por ejemplo, el volumen aumenta durante los fines de semana o fechas festivas, mientras que en áreas industriales puede concentrarse en ciertos horarios laborales. Por eso, se realizan conteos manuales o automatizados durante periodos representativos, que luego se ajustan mediante factores de expansión (Ashhad et al, 2020).

El volumen de tráfico también tiene una relación directa con el deterioro de la infraestructura. Una vía con alto tránsito de vehículos pesados, como camiones y buses, experimenta un desgaste más rápido, lo cual incrementa los costos de mantenimiento. Por esta razón, el análisis del volumen también es clave para la planificación financiera de obras viales y el diseño de pavimentos. Hoy en día, la recolección de datos de volumen se ha modernizado mediante tecnologías como sensores inductivos, estaciones de peaje electrónico, cámaras con procesamiento de video y análisis de datos móviles. Estas herramientas permiten recolectar datos con alta precisión, reduciendo el margen de error humano y facilitando un monitoreo continuo (Yasig Villamar, 2024).

2.2.9 VELOCIDAD PROMEDIO DE VEHÍCULOS

La velocidad promedio de los vehículos es un parámetro esencial en la evaluación del rendimiento de una vía, ya que permite conocer la fluidez del tráfico y detectar zonas con problemas operativos. A través de su análisis se pueden identificar tramos críticos donde existen pérdidas significativas de tiempo, lo que permite diseñar intervenciones específicas para mejorar la movilidad. Esta variable se ve afectada por el tipo de vía, el volumen vehicular, la densidad del tráfico, las características del entorno urbano y las condiciones climáticas, también está relacionada con la seguridad vial. Estudios han demostrado que existe una correlación entre velocidades elevadas y una mayor severidad en los accidentes. Sin embargo, velocidades excesivamente bajas, provocadas por congestión o mala señalización, también pueden generar riesgos por frenados repentinos, cambios de carril agresivos o comportamiento errático de los conductores. Por ello, el objetivo de la ingeniería de tráfico es lograr una velocidad promedio homogénea, segura y acorde con la capacidad de la infraestructura (Bissé, 2023).

El análisis de velocidad se puede realizar mediante diferentes métodos: mediciones directas con radares, estudios de punto flotante (vehículo de prueba), seguimiento por GPS, cámaras de videovigilancia y sensores automáticos instalados en la vía. Los datos recolectados permiten calcular tanto la velocidad puntual como la velocidad de recorrido, lo cual es útil para el diseño de semáforos, la evaluación de tiempos de viaje y el establecimiento de límites de velocidad razonables. En el marco del transporte sostenible, también se analiza la relación entre velocidad y consumo de combustible. Velocidades demasiado bajas o con alta variabilidad provocan un mayor gasto de combustible y aumento de emisiones contaminantes. Por lo tanto, mantener una velocidad promedio adecuada también contribuye a reducir el impacto ambiental del transporte urbano y periurbano (Alvarenga Rodríguez, 2020).

2.2.10 DENSIDAD DE TRÁFICO

La densidad de tráfico es el número de vehículos que ocupan una unidad de longitud de una vía en un momento determinado. Su análisis es crucial para diagnosticar la capacidad de las vías y prever condiciones de congestión. A medida que la densidad aumenta, la velocidad promedio tiende a disminuir, y en consecuencia, el flujo vehicular también puede reducirse si se supera el umbral de capacidad. Esta relación está representada gráficamente en las curvas fundamentales del tráfico. Este parámetro no puede ser analizado de forma aislada, ya que está estrechamente vinculado al volumen y a la velocidad del tráfico. Una densidad alta puede ser tolerable si los vehículos avanzan a una velocidad razonable, como sucede en vías de alta capacidad. No obstante, cuando se alcanza una densidad crítica, se generan fenómenos como el efecto de embudo, propagación de ondas de choque y pérdida de continuidad en el flujo vehicular (Febres et al, 2024).

La medición de la densidad puede realizarse mediante conteos en campo, sensores instalados a lo largo de la vía o mediante tecnologías más recientes como drones, los cuales permiten una observación aérea precisa y continua. Esta información resulta especialmente útil en intersecciones, rotondas, pasos a nivel o zonas escolares, donde el comportamiento del tráfico puede ser más impredecible. Comprender la densidad también permite determinar la eficacia de ciertas intervenciones, como la adición de carriles, el cambio de sentidos de circulación o la implementación de controles de acceso. Además, en el diseño de transporte público, la densidad vehicular es un factor clave para decidir rutas, horarios y frecuencias de operación. Un sistema de transporte eficiente debe operar en vías con densidades adecuadas que no comprometan su velocidad comercial ni su puntualidad (Febres et al, 2024).

2.2.11 TIEMPO DE VIAJE PROMEDIO

El tiempo de viaje promedio representa el intervalo que tarda un usuario en desplazarse entre dos puntos específicos de la red vial. Es uno de los indicadores más utilizados en la planificación y evaluación del desempeño del transporte, ya que refleja de manera directa la eficiencia del sistema. Su análisis permite identificar zonas de congestión, evaluar el impacto de intervenciones viales y diseñar rutas óptimas tanto para el transporte privado como para el transporte público. Este indicador es muy sensible a la variabilidad horaria, los incidentes imprevistos, la semaforización, el tipo de intersección y el comportamiento de los conductores. Por ello, su cálculo debe realizarse con datos representativos, abarcando diferentes horarios, días de la semana y condiciones climáticas. Gracias a tecnologías como GPS, sensores vehiculares y aplicaciones móviles, hoy es posible monitorear el tiempo de viaje en tiempo real y con gran precisión (Cardona et al, 2020).

La reducción del tiempo de viaje es uno de los principales objetivos de las políticas de movilidad urbana, ya que se traduce en ahorro de recursos, mejora en la productividad de los usuarios, reducción del estrés y aumento de la competitividad económica. Sin embargo, no solo se debe reducir el tiempo promedio, sino también su variabilidad, para ofrecer mayor confiabilidad al sistema de transporte. Además, el análisis de tiempos de viaje permite optimizar las rutas de transporte público, establecer corredores exclusivos, rediseñar intersecciones y mejorar la coordinación semafórica. También se utiliza en aplicaciones de navegación y gestión logística para proponer alternativas más rápidas y eficientes. En estudios de impacto ambiental, un menor tiempo de viaje implica también una menor emisión de contaminantes por vehículo (Bravo et al., 2021).

2.2.12 SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE TRÁFICO (SYNCHRO)

Synchro es un software de modelado y análisis de tráfico que ofrece una variedad de funciones diseñadas para mejorar la gestión y la planificación del tráfico urbano. Este software permite simular diferentes escenarios de tráfico y analizar el comportamiento de los vehículos en intersecciones semaforizadas y no semaforizadas. Una de sus principales ventajas es la capacidad de representar condiciones reales de operación, considerando múltiples variables como el volumen vehicular, los ciclos de semáforos y los patrones de movilidad. A diferencia de otros programas más complejos o de alto costo computacional, Synchro destaca por su eficiencia en la evaluación rápida de múltiples alternativas de diseño vial. Esto lo convierte en una herramienta clave en etapas de preinversión, diagnóstico urbano y análisis de medidas de mitigación. Su flexibilidad también permite integrar aspectos como el comportamiento peatonal, la interacción con transporte público y los efectos de nuevas edificaciones en la red vial existente, facilitando una visión integral del sistema de transporte (Harkut, 2023).

El enfoque de Synchro se basa en el concepto de intersecciones como nodos críticos en la red vial. Al optimizar estas intersecciones mediante ajustes semafóricos, rediseño geométrico o cambios operativos, es posible mejorar significativamente la eficiencia de todo un corredor vial. Además, su capacidad para generar reportes gráficos y cuantitativos permite comunicar los resultados de forma clara y accesible a autoridades, consultores, académicos y ciudadanía (Mendoza Gonzales, 2023).

Modelado y Simulación de Tráfico

Synchro ofrece una amplia gama de funciones para la gestión y planificación del tráfico urbano. Permite la simulación de tráfico a nivel de intersecciones y redes, modelando la interacción entre vehículos y peatones y evaluando el impacto de cambios en la infraestructura vial.

Analiza intersecciones semaforizadas y no semaforizadas, optimiza tiempos de semáforos y evalúa la capacidad y nivel de servicio. Además, permite crear y analizar redes de tráfico complejas, evaluar rutas alternativas y sincronizar semáforos en corredores. Synchro optimiza la sincronización de semáforos, minimiza tiempos de espera y congestión, y coordina semáforos en áreas urbanas. También analiza el impacto del tráfico de nuevos desarrollos, evalúa medidas de mitigación y genera informes detallados y gráficos para presentaciones. Por último, permite modelar flujos de tráfico vehicular y peatonal, identificar puntos conflictivos, evaluar escenarios de planificación urbana y analizar estrategias de gestión de tráfico (Martínez et al., 2011).

Una de las funcionalidades más destacadas de Synchro es la optimización de tiempos de semáforo y la sincronización de intersecciones a lo largo de un corredor. Esta característica permite diseñar sistemas coordinados que mejoran la fluidez vehicular, reducen las detenciones y disminuyen el consumo de combustible. De igual manera, se pueden probar diferentes estrategias de control, como tiempos fijos, actuados o semáforos adaptativos, evaluando cuál se ajusta mejor a las condiciones locales. La capacidad de modelar tanto redes simples como complejas hace que Synchro sea una herramienta versátil para la planificación urbana. Puede aplicarse a proyectos pequeños, como la mejora de una intersección aislada, o a estudios más amplios que involucren varias avenidas, zonas escolares, cruces peatonales y centros de alto tráfico. Su integración con SimTraffic, una extensión de simulación microscópica, permite además visualizar en animación el comportamiento dinámico de los vehículos, facilitando la validación de resultados (Oropeza y Leyva, 2022).

Análisis de Resultados

El análisis de resultados en Synchro se basa en una serie de métricas de desempeño que permiten evaluar de forma cuantitativa y cualitativa la efectividad de cada alternativa de diseño. Entre las más comunes se encuentran: el tiempo promedio de viaje, el retraso por

vehículo, la longitud de colas, el nivel de servicio (LOS), el tiempo de ciclo, el porcentaje de saturación y las emisiones vehiculares. Estas métricas permiten identificar los puntos críticos del sistema y priorizar las acciones correctivas más eficaces. Uno de los aportes más relevantes del análisis con Synchro es su utilidad para evaluar medidas de mitigación frente a impactos generados por nuevos desarrollos urbanos. Por ejemplo, si se construye un centro comercial o un conjunto habitacional, el software permite prever cómo estos incrementos en la demanda de tráfico afectarán la red vial existente, y qué intervenciones se requerirán para mantener niveles aceptables de servicio (Chiasserini et al., 2020).

Los resultados obtenidos pueden ser presentados en forma de gráficos, diagramas, tablas y animaciones, lo que facilita su interpretación tanto para técnicos como para autoridades y la ciudadanía en general y esta capacidad de comunicación es clave en procesos de consulta pública y planificación participativa, donde es necesario justificar las decisiones con base en evidencia técnica. Además, el análisis de resultados permite realizar una evaluación comparativa entre varios escenarios simulados. Esto facilita la selección de la alternativa más adecuada desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. De esta forma, Synchro se convierte en una herramienta de apoyo a la toma de decisiones basada en datos, minimizando los riesgos de implementar soluciones ineficientes o innecesarias. En contextos de movilidad sostenible, también se pueden incluir criterios como la reducción de emisiones de CO₂, la mejora del acceso peatonal, y el impacto en el transporte público, integrando así consideraciones ambientales y sociales al análisis del tráfico. Todo esto posiciona a Synchro como un software indispensable para los estudios modernos de planificación vial y urbana (Pinto y Cruz, 2024).

2.2.13 MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM 2010)

La capacidad vial es uno de los pilares fundamentales del análisis de tránsito. Se define como el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto dado de una infraestructura vial durante un período específico, bajo condiciones ideales de operación. Esta variable se expresa normalmente en vehículos por hora por carril (veh/h/carril).

Según el HCM 2010, la capacidad no solo depende del volumen de vehículos, sino también de características geométricas, ambientales y operacionales de la vía (Transportation Research Board, 2010).

2.2.14 NIVEL DE SERVICIO (LOS – LEVEL OF SERVICE)

El Nivel de Servicio (LOS) es una medida cualitativa que representa el grado de comodidad, seguridad y eficiencia con que se realiza un viaje. El HCM clasifica el LOS en seis niveles, de la A a la F (Transportation Research Board, 2010).

- LOS A: Flujo libre, sin congestión, alta velocidad.
- LOS B y C: Flujo estable, aunque ya se percibe interacción entre vehículos.
- LOS D: Flujo próximo a la inestabilidad.
- LOS E: Capacidad máxima de la vía, velocidad muy baja.
- LOS F: Flujo forzado o colapsado, congestión severa.

2.2.15 DEMORA Y TIEMPO DE VIAJE

La demora y el tiempo de viaje son aspectos fundamentales en el análisis del tránsito. La demora se entiende como el tiempo adicional que un conductor experimenta debido a interrupciones en el flujo vehicular, tales como semáforos, congestión, cruces o maniobras de giro. En el caso de las intersecciones, el HCM distingue entre distintos tipos de demora: la demora de control, generada por dispositivos como semáforos o señales de pare; la demora por congestión, causada por una demanda vehicular que supera la capacidad de la vía; y la demora

total, que abarca tanto el tiempo de espera como el de aceleración (Transportation Research Board, 2010).

2.2.16 FACTORES QUE AFECTAN LA CAPACIDAD

El HCM 2010 identifica diversos factores que influyen en la capacidad vial, los cuales pueden incrementar o reducir el flujo vehicular, y los clasifica en tres grupos principales. En cuanto a los factores geométricos, se consideran el número y ancho de carriles, los radios de giro, las pendientes longitudinales y laterales, así como la presencia de bermas o separadores centrales. Dentro de los factores de tránsito, se incluye la mezcla vehicular —que abarca automóviles, camiones, buses y motos—, el porcentaje de vehículos pesados y la tasa de cambio de carril. Finalmente, los factores operacionales contemplan el control de acceso, como entradas y salidas, la señalización vertical y horizontal, y el tipo de control semafórico, incluyendo semáforos, señales de pare o ceda el paso (Transportation Research Board, 2010).

2.2.17 IMPORTANCIA Y APLICACIONES DEL HCM

El HCM 2010 se emplea para el diseño de nuevas vías y la mejora de las existentes, así como para la simulación de escenarios futuros relacionados con el crecimiento del tráfico vehicular. Además, permite identificar cuellos de botella en la infraestructura vial y proponer soluciones adecuadas. También brinda un sustento técnico para justificar inversiones en obras de infraestructura y facilita la evaluación del impacto que pueden generar los proyectos urbanos o de transporte. En la práctica, constituye la base metodológica de diversas herramientas de simulación, como Synchro, VISSIM y SIDRA, y se reconoce a nivel internacional como un estándar en la planificación y operación del tránsito vehicular (Transportation Research Board, 2010).

2.2.18 SEMAFORIZACIÓN

La semaforización es uno de los sistemas más utilizados y efectivos para controlar el tránsito vehicular y peatonal en intersecciones urbanas. Su función principal es regular el paso alternado de vehículos y personas mediante señales luminosas, con el fin de evitar conflictos y reducir el riesgo de accidentes. Este sistema cumple un rol fundamental dentro de la planificación urbana, ya que influye directamente en la fluidez del tráfico, la seguridad vial y la calidad de vida de los ciudadanos. El diseño de un sistema de semaforización requiere el análisis detallado del comportamiento del tráfico en la intersección, incluyendo los volúmenes vehiculares por carril, la presencia de giros conflictivos, la circulación de peatones y la jerarquía vial. También deben considerarse factores ambientales como la visibilidad, iluminación, señalización complementaria y características geométricas de la vía. Un diseño eficiente debe balancear el tiempo de uso de cada movimiento, garantizando equidad entre los flujos principales y secundarios (Tarquino Torres, 2023).

La evolución tecnológica ha llevado a que los sistemas de semaforización pasen de ser dispositivos aislados a formar parte de redes coordinadas e inteligentes. En muchos casos, los semáforos se integran en centros de control de tráfico que recopilan datos en tiempo real, ajustan las señales según la demanda, y responden automáticamente ante incidentes como accidentes, desvíos o congestión. Esta transformación digital ha convertido la semaforización en un componente clave dentro de los sistemas inteligentes de transporte (ITS) (Gutiérrez y Angúlo, 2022).

2.2.19 OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS DE SEMÁFOROS

La optimización de tiempos semafóricos es una estrategia orientada a mejorar el rendimiento de las intersecciones mediante el ajuste inteligente de los ciclos de señal. Implica el análisis de las fases de los semáforos (verde, ámbar y rojo) para asignar tiempos proporcionales a la demanda real de cada movimiento vehicular o

peatonal. El objetivo es reducir las demoras, evitar acumulación de colas y aumentar la capacidad de paso sin comprometer la seguridad. Este proceso puede realizarse manualmente, mediante estudios de campo y cálculos con base en el volumen vehicular observado, o de forma automática a través de algoritmos que procesan datos en tiempo real. Los métodos computacionales permiten evaluar diferentes configuraciones en simuladores como Synchro, VISSIM o Transyt, para encontrar la combinación óptima de tiempos y fases. Estas simulaciones pueden incluir incluso variaciones horarias, climáticas o por eventos específicos (Apestegui y Caselli, 2024).

Los beneficios de la optimización incluyen una mejora significativa en la eficiencia del sistema vial, una reducción en el consumo de combustible, disminución de emisiones contaminantes y una menor percepción de estrés por parte de los conductores. Cuando se sincronizan varios semáforos a lo largo de un corredor vial, se puede lograr el llamado "paso verde", que permite a los vehículos recorrer tramos largos sin detenerse, reduciendo así la congestión y el desgaste vehicular. Además, la implementación de semáforos adaptativos, que ajustan automáticamente sus tiempos según la demanda del momento, ha marcado un avance importante en ciudades modernas. Estos sistemas emplean sensores, cámaras y software predictivo para monitorear el flujo de tráfico y modificar los ciclos en cuestión de segundos. Como resultado, se logra una gestión más eficiente, flexible y resiliente frente a variaciones imprevistas en el tránsito, tales como accidentes, marchas o eventos deportivos (Alba y Hernández, 2020).

2.2.20 CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

La capacidad de una vía o intersección se refiere al número máximo de vehículos que puede atender de manera eficiente en un periodo determinado, sin que se produzca una degradación significativa en el flujo. Este parámetro es esencial para el diseño de semáforos, ya que de él depende la longitud del ciclo semafórico, la distribución del tiempo entre fases y el número de carriles necesarios para absorber la

demanda en hora punta. El nivel de servicio (LOS), por su parte, permite clasificar la calidad del tránsito en función de parámetros como velocidad, densidad, retraso promedio y nivel de comodidad del usuario. El Highway Capacity Manual (HCM) define una escala de seis niveles (A a F), donde "A" representa condiciones de flujo libre y "F" corresponde a una situación de colapso vial. Esta evaluación es fundamental para detectar deficiencias operativas y justificar intervenciones de mejora (Valverde Silva, 2022).

El análisis de capacidad y nivel de servicio se aplica tanto a intersecciones semaforizadas como a tramos viales, rampas de acceso, glorietas y peajes. A través de estos indicadores, se puede determinar si una infraestructura es adecuada para el volumen vehicular actual o si requiere ajustes como ampliación de carriles, rediseño geométrico o modificación del sistema de control. En intersecciones controladas por semáforo, un mal diseño de fases puede llevar a la subutilización de carriles, aumento de colas y deterioro del nivel de servicio. Hoy en día, los estudios de capacidad y LOS se apoyan en herramientas como HCS, SIDRA INTERSECTION, y simuladores avanzados que permiten modelar escenarios futuros de crecimiento urbano, nuevas rutas de transporte o cambios en la distribución del tránsito. Esta capacidad predictiva resulta especialmente valiosa para planificadores y autoridades locales, ya que permite tomar decisiones preventivas en lugar de correctivas (Rubio Idrogo, 2023).

Además, los conceptos de capacidad y nivel de servicio están siendo actualizados para incluir criterios de equidad e impacto ambiental. Por ejemplo, una intersección puede tener un alto nivel de servicio para vehículos privados, pero dificultar el cruce de peatones o el paso del transporte público. En este contexto, la evaluación debe considerar la totalidad de los usuarios de la vía y no limitarse exclusivamente al flujo vehicular (Valverde Silva, 2022).

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

Capacidad vial

Se refiere al número máximo de vehículos que pueden pasar por una sección de vía o intersección durante un período determinado, bajo condiciones ideales de operación, sin que se produzca congestión. Es un parámetro esencial en el diseño de vías urbanas, semáforos y estrategias de control de tráfico, ya que define los límites físicos y operativos del sistema vial (Falcocchio y Levinson, 2015).

Carga vehicular

Es la medida del volumen de vehículos que transita por una vía en un periodo específico, considerando no solo la cantidad, sino también el tipo y peso de los vehículos. Una carga vehicular elevada puede acelerar el deterioro de la infraestructura y aumentar los niveles de congestión, especialmente en puentes y tramos críticos (Dykinson, 2022).

Ciclo semafórico

Representa el tiempo total que toma un semáforo para completar todas sus fases (verde, amarillo y rojo) antes de reiniciar el ciclo. Su correcta programación es fundamental para garantizar el equilibrio entre seguridad vial y eficiencia operativa, y permite minimizar el tiempo de espera y la acumulación de colas en las intersecciones (Motta, 2002).

Cinturón vial

Es un conjunto de vías de circunvalación que rodean una ciudad o núcleo urbano con el objetivo de desviar el tráfico de paso o vehículos pesados fuera de la zona central. Su diseño contribuye a la descongestión de intersecciones internas y mejora la fluidez del transporte regional (Schifter y López, 2013).

Congestión vehicular

Situación en la que la demanda vehicular supera la capacidad vial disponible, generando lentitud en el flujo de tránsito, aumento en los tiempos de viaje y deterioro de la calidad del aire. Este fenómeno suele ser más severo en intersecciones con altos volúmenes y mala sincronización semafórica (Cárdenas Grisales, 2013).

Control de tráfico

Conjunto de técnicas, dispositivos y políticas aplicadas para regular, dirigir y coordinar el movimiento de vehículos y peatones. Incluye semáforos, señales verticales y horizontales, rotondas y dispositivos ITS. Su correcta aplicación mejora la seguridad vial y la eficiencia del sistema de transporte urbano (Carreño Dueñas, 2012).

Demanda vehicular

Es la cantidad de vehículos que necesita utilizar una determinada infraestructura vial en un período de tiempo específico. La planificación y diseño del sistema semafórico debe responder a esta demanda, que varía según la hora del día, el día de la semana y las características socioeconómicas de la zona (Plata y Ramírez, 2018).

Densidad vehicular

Cantidad de vehículos que se encuentra en una unidad de longitud de una vía, generalmente expresada en vehículos por kilómetro. Una densidad alta suele indicar condiciones de flujo lento o congestionado, y es un parámetro clave para determinar el nivel de servicio de una intersección o tramo vial (Alvarenga, 2021).

Desempeño vial

Se refiere al nivel de eficiencia con el que una vía o red de transporte permite la circulación de vehículos. Incluye factores como velocidad, retardo, capacidad y seguridad. Evaluar el desempeño vial en zonas como el Puente

Daniel Alomía Robles es esencial para proponer mejoras en la semaforización (Jara Rojas, 2024).

Diseño geométrico vial

Comprende la configuración física de las vías e intersecciones, considerando alineamientos, radios de giro, anchos de carril, pendientes y visibilidad. Un diseño adecuado permite mejorar la capacidad de la infraestructura y facilita la implementación eficiente de semáforos y otras señales de control (Valverde Silva, 2022).

Emisiones vehiculares

Son los gases contaminantes expulsados por los vehículos durante su operación, especialmente dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado. Una semaforización optimizada puede reducir significativamente estas emisiones al evitar detenciones y aceleraciones innecesarias (Canta y Ordoñez, 2023).

Flujo vehicular

Cantidad de vehículos que pasa por un punto específico de una vía durante un intervalo de tiempo determinado. Es uno de los parámetros más importantes en la ingeniería de tránsito, ya que permite diseñar semáforos ajustados a la realidad operativa de cada intersección (Rubio Idrogo, 2023).

Infraestructura vial

Conjunto de obras físicas como carreteras, calles, puentes, intersecciones y señalización, diseñadas para facilitar la movilidad de vehículos y personas. Su estado de conservación y diseño afectan directamente la efectividad de los sistemas semafóricos (Mendoza Gonzales, 2023).

Intersección

Punto donde convergen dos o más vías, generando posibles conflictos de tránsito. Las intersecciones son áreas críticas para la movilidad urbana y

requieren sistemas de control eficientes, como semáforos, para garantizar la seguridad y fluidez del tránsito (Martínez et al., 2011).

ITS (Sistemas Inteligentes de Transporte)

Tecnologías aplicadas al transporte que permiten monitorear, gestionar y optimizar el flujo de tránsito en tiempo real. Incluyen sensores, cámaras, semáforos inteligentes y software de simulación que mejoran la toma de decisiones y la eficiencia operativa (León Vallejo, 2020).

Modelo de congestión

Modelo específico que predice y analiza la congestión vehicular en una red de transporte, considerando factores como el volumen de tráfico y la capacidad vial (Plata y Ramírez, 2018).

Modelo de simulación

Representación matemática o computacional de un sistema real, utilizada para predecir el comportamiento del tráfico bajo diversas condiciones (Carreño Dueñas, 2012).

Nivel de servicio (LOS)

Índice que califica el rendimiento del tráfico en una vía o intersección, en una escala de A (flujo libre) a F (congestión total). Este indicador ayuda a evaluar la efectividad de los sistemas semafóricos y a justificar intervenciones en el diseño vial (Cardona et al, 2020).

Optimización semafórica

Proceso técnico que ajusta los ciclos, fases y tiempos de los semáforos para maximizar la eficiencia del flujo vehicular y minimizar el retardo. Implica el uso de herramientas computacionales, análisis de tráfico y técnicas de sincronización (Bravo et al., 2021).

Peatón

Usuario del sistema vial que se desplaza a pie. Es considerado un actor vulnerable y debe ser protegido mediante tiempos exclusivos de cruce, señalización visible y fases semafóricas bien programadas (Sañay Sanaicela, 2023).

Plan de movilidad urbana

Instrumento técnico y normativo que organiza y regula el transporte en una ciudad. Incluye políticas para el transporte público, infraestructura vial, seguridad vial y sistemas de control, como la semaforización (Yasig Villamar, 2024).

Puente vial

Infraestructura que permite el cruce vehicular sobre obstáculos como ríos, avenidas u otras vías. Su conectividad con la red vial urbana requiere sistemas semafóricos que regulen el flujo de entrada y salida, especialmente en zonas de alta demanda (Oropeza y Leyva, 2022).

Red semafórica

Conjunto interconectado de semáforos en una zona urbana, cuya sincronización permite mejorar la eficiencia del flujo vehicular en corredores viales o intersecciones múltiples. Su diseño requiere un análisis integral del comportamiento del tráfico (Pinto y Cruz, 2024).

Red vial urbana

Sistema de calles y avenidas que permite el desplazamiento dentro de una ciudad. Está compuesto por vías principales, secundarias y terciarias, y requiere una planificación adecuada del control semafórico para garantizar su operatividad (Canta y Ordoñez, 2023).

Retardo promedio

Tiempo adicional que los vehículos deben esperar en una intersección, respecto al tiempo de viaje bajo condiciones ideales. Este indicador se utiliza para evaluar la eficiencia de un semáforo y su impacto en la movilidad (León Vallejo, 2020).

Satélite GPS

Tecnología que permite obtener información georreferenciada sobre el movimiento de vehículos, como trayectorias, velocidades y tiempos de viaje. Es útil para estudios de campo y calibración de modelos de simulación (Mendoza Gonzales, 2023).

Tránsito vehicular

Movimiento y flujo de vehículos en carreteras y calles, influenciado por la infraestructura vial y las normas de tráfico (Dykinson, 2022).

Transporte público

Sistema de transporte compartido accesible al público, como autobuses y trenes, diseñado para reducir el uso de vehículos privados y mejorar la movilidad urbana (Motta, 2002).

Velocidad media de circulación

Velocidad promedio a la que se desplazan los vehículos en una sección vial durante un periodo específico (Cárdenas Grisales, 2013).

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

La implementación de un sistema de semaforización optimizado reduce significativamente el nivel de congestión vehicular en las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles, Huánuco.

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA

HE1: La semaforización mejora significativamente los niveles de servicio (LOS) de la congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.

HE2: La semaforización reduce significativamente el tiempo de retardo por congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.

HE3: La semaforización reduce significativamente la capacidad de saturación del flujo vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.

2.5 VARIABLES

2.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

VI: Optimización de la semaforización.

2.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

VD: Nivel de congestión vehicular y desempeño del flujo vehicular.

2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA
VARIABLE INDEPENDIENTE: Optimización de la semaforización en intersecciones.	Diseño, instalación y configuración de un sistema de control semafórico que regula el flujo vehicular en las intersecciones evaluadas.	Estado del sistema de control semafórico en la intersección, medido a través de la simulación en Synchro: sin semáforo y con semáforo optimizado.	- Estado del sistema de control - Parámetros de semaforización (ciclo, fases, tiempos) - Simulación del tránsito vehicular	- Estado: Sin semáforo / Con semáforo - Tiempo de ciclo semafórico (segundos) - Número de fases - Duración del verde (segundos)	Software Synchro (simulación)	Categoría (binaria: 0 = sin semáforo, 1 = con semáforo) Numérica (segundos para tiempos)
VARIABLE DEPENDIENTE: Nivel de congestión vehicular y desempeño del flujo vehicular.	Evaluación del rendimiento del tránsito en las intersecciones, a través de la calidad del flujo vehicular y los niveles de congestión generados.	Medición del nivel de servicio, tiempos de retardo y acumulación de vehículos en la intersección, obtenidos a partir de la simulación en Synchro.	- Nivel de Servicio (LOS) - Tiempo de retardo - Longitud máxima de cola - Densidad y volumen de tráfico vehicular - Velocidad promedio de vehículos	- Categoría de LOS (A-F) - Tiempo promedio de retardo (segundos) - Longitud máxima de cola (metros o vehículos) - Capacidad vial	Fichas de aforo vehicular del MTC	LOS: Ordinal (A-F) Retardo: Numérica (segundos) Cola: Numérica (metros o número de vehículos)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación de tipo aplicada busca generar nuevas ideas sobre un método que, basado en los hallazgos obtenidos, pueda desarrollarse de manera sistemática y adecuada para mejorar la situación actual y alcanzar metas específicas. Es una investigación aplicada porque utiliza principios básicos de ingeniería para ofrecer soluciones a problemas, en este caso, relacionados con el ámbito vial (Esteban Nieto, 2018).

En mi investigación, me enfocaré en resolver un problema práctico y específico en el ámbito vial. Mi objetivo es reducir la congestión vehicular en las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles, proponiendo soluciones prácticas mediante una simulación real usando el software Synchro para modelar el tráfico.

3.1.1 ENFOQUE

El enfoque cuantitativo en investigación se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para identificar patrones, probar hipótesis y hacer predicciones. Utiliza métodos estadísticos y matemáticos para obtener resultados objetivos y reproducibles, permitiendo la generalización de los hallazgos a una población más amplia (Hernández y Mendoza, 2023).

Mi investigación adoptará un enfoque cuantitativo, midiendo el número diario de autos que transitan por el área de estudio para obtener un modelo preciso del tráfico mediante el uso del software Synchro.

3.1.2 ALCANCE O NIVEL

El nivel explicativo en una investigación se centra en detallar y caracterizar con precisión los elementos y variables de un fenómeno, proporcionando una descripción completa de sus características y

comportamientos. Este nivel va más allá de la descripción o la correlación, buscando entender las razones subyacentes que explican la ocurrencia de un evento o fenómeno. Se recopilan datos que delinean un panorama detallado del fenómeno, estableciendo una base de conocimiento fundamental (Hernández y Mendoza, 2023).

Mi investigación será de nivel explicativo, enfocándose en analizar las características y el comportamiento del tráfico en la intersección aledañas al puente Daniel Alomía Robles, recopilando datos relevantes para obtener un modelo real del tráfico en esa área.

3.1.3 DISEÑO

Un diseño experimental es aquel en el que el investigador manipula deliberadamente la variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes, controlando las condiciones externas y asignando aleatoriamente los sujetos o unidades de análisis a los grupos de estudio, lo que permite establecer relaciones de causa y efecto con alto grado de validez interna. En cambio, un diseño pre experimental es una forma más básica de experimentación, en la que no existe control riguroso de variables ni asignación aleatoria, y se trabaja con un solo grupo o con grupos intactos ya existentes, limitando la posibilidad de establecer causalidad plena, pero siendo útil para estudios exploratorios o aplicados donde se busca observar cambios o efectos iniciales tras la aplicación de un tratamiento o intervención en condiciones reales. (Hernández y Mendoza, 2023).

En la presente investigación se empleó un diseño pre experimental, ya que se aplicó una intervención controlada en condiciones reales mediante la implementación de un sistema de semaforización modelado en el software Synchro en dos intersecciones críticas de la ciudad de Huánuco. No se realizó una asignación aleatoria de las unidades de análisis, puesto que las intersecciones fueron seleccionadas de manera intencional por su alto nivel de congestión vehicular. Sin embargo, se manipuló la variable independiente

(semaforización propuesta) y se observaron sus efectos sobre las variables dependientes (nivel de servicio, tiempo de retardo y capacidad de saturación del flujo vehicular), permitiendo evaluar comparativamente el comportamiento del tránsito antes y después de la intervención. De esta manera, el diseño pre experimental permitió comprobar de forma aplicada y contextual la eficacia de la propuesta de semaforización en la mejora de la movilidad urbana.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

En un estudio de investigación, la población se refiere al grupo completo de personas o elementos que comparten las características que se quieren analizar (Lerma González, 2022).

La población de la investigación está conformada por todas las intersecciones urbanas con alto nivel de congestión vehicular en la ciudad de Huánuco, especialmente aquellas ubicadas en zonas de conexión estratégica del centro urbano con las vías principales de ingreso y salida. Estas intersecciones representan los puntos de mayor conflicto en la red vial debido a la ausencia de control semafórico y a la elevada demanda vehicular en horas pico.

3.2.2 MUESTRA

Una muestra no probabilística es una selección de individuos o elementos de la población, escogidos de manera no aleatoria, con base en criterios específicos definidos por el investigador. Este tipo de muestreo se utiliza cuando no es posible o práctico realizar una selección aleatoria, y permite a los investigadores obtener información relevante de manera eficiente (Lerma González, 2022).

La muestra estuvo conformada por una intersección vial urbana crítica seleccionado de manera no probabilística e intencional, debido a su alto flujo vehicular y nivel de congestión. Esta fue la intersección del Puente Daniel Alomía Robles, ubicada en la ciudad de Huánuco. En la

intersección se realizó el levantamiento de datos de campo, que incluyó conteos vehiculares por tipo de vehículo y sentido de circulación en horas pico, así como la simulación de los escenarios actual y propuesto mediante el software Synchro, con el propósito de evaluar comparativamente el impacto de la semaforización sobre los niveles de servicio, tiempos de retardo y capacidad de saturación del flujo vehicular.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos en la investigación se desarrolló mediante un proceso de aforo vehicular manual, realizado directamente en las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles, en la ciudad de Huánuco. El levantamiento se llevó a cabo con el objetivo de obtener información precisa sobre el comportamiento del tránsito, los volúmenes vehiculares y los movimientos predominantes en cada aproximación. El trabajo de campo se efectuó en una semana desde el 14 al 20 de julio durante las tres horas pico del día; mañana (07:00–08:00 h), mediodía (12:30–13:30 h) y tarde (18:30–19:30 h), cubriendo los periodos de mayor flujo y representatividad operativa del sistema vial urbano.

Durante el levantamiento, el equipo investigador clasificó manualmente los vehículos según su tipo (livianos, pesados y motocicletas) y dirección de desplazamiento (giro izquierdo, giro derecho y movimiento directo). Esta metodología permitió identificar los patrones de congestión y determinar los giros conflictivos en las intersecciones. Cada conteo fue registrado en fichas diseñadas para tal fin, garantizando uniformidad y exactitud en la información recolectada.

Para asegurar la veracidad y trazabilidad del procedimiento, se tomaron fotografías de las jornadas de recolección, las cuales evidencian las condiciones reales del flujo vehicular, la señalización existente y el estado físico de la infraestructura vial. Las imágenes incluyeron distintos ángulos y sentidos de circulación, lo que permitió corroborar los datos tabulados y servir como respaldo visual del trabajo de campo.

Posteriormente, los datos recolectados fueron organizados y tabulados en hojas de cálculo, clasificándolos por tipo de vehículo, dirección de movimiento y franja horaria. Con esta base de datos, se procedió a la conversión de unidades a PCU (Passenger Car Units), aplicando factores equivalentes establecidos por el Transportation Research Board (2010), con el fin de representar de manera uniforme la carga vehicular y evaluar la capacidad vial de cada aproximación.

Finalmente, los volúmenes procesados se ingresaron en el software Synchro 11, donde se modelaron los escenarios “actual” y “propuesto”. Este procedimiento permitió analizar los indicadores operacionales nivel de servicio (LOS), tiempo de retardo y capacidad de saturación y comparar cuantitativamente el efecto de la semaforización sobre la eficiencia del flujo vehicular en ambas intersecciones.

3.3.2 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Una vez concluido el proceso de recolección en campo, los datos obtenidos fueron organizados y procesados para su análisis en el software Synchro 11, con el fin de modelar el comportamiento del flujo vehicular en las intersecciones evaluadas. Los volúmenes de tránsito recopilados durante las tres horas pico del día (mañana, mediodía y tarde) fueron tabulados y desagregados por tipo de movimiento (giro a la izquierda, giro a la derecha y movimiento directo) y por tipo de vehículo (liviano, pesado y motocicleta), permitiendo una caracterización detallada del comportamiento vial en cada aproximación. Estos datos fueron ingresados al entorno del software como parte de la configuración base del modelo, sirviendo como insumo principal para simular el estado actual con una semaforización inicial y comparar los resultados frente al escenario propuesto. Asimismo, se incluyen en los anexos los cuadros de flujo vehicular por intersección y franja horaria, facilitando la comprensión de las condiciones de demanda real. Esta presentación clara y estructurada de los datos asegura la transparencia del estudio y permite reproducibilidad en futuros análisis similares.

3.3.3 PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Una vez ingresados los datos de volúmenes vehiculares al software Synchro 11, se procedió con la simulación del escenario actual y del escenario propuesto con semaforización, a fin de analizar comparativamente los indicadores clave de desempeño vial. Entre los principales parámetros evaluados se encuentran el nivel de servicio (LOS), los tiempos de retardo promedio por vehículo, la longitud máxima de cola y la distribución del tiempo de espera por fase semafórica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

En esta sección se expone todo el proceso requerido para desarrollar las propuestas de semaforización correspondientes a las dos intersecciones analizadas.

4.1.1 AFORO VEHICULAR

Es fundamental conocer cuantitativamente los niveles de congestión vehicular; por ello, se llevó a cabo un conteo real de vehículos en una semana desde el 14 al 20 de julio durante las horas pico (7:00 a.m. - 8:00 a.m.; 12:30 p.m. - 1:30 p.m. y 6:30 p.m. - 7:30 p.m.) en las intersecciones en análisis, con el objetivo de identificar el periodo de mayor congestión y analizar la problemática en sus condiciones más críticas.

4.1.2 FACTORES DE CONVERSIÓN

Para el conteo vehicular se empleará la siguiente tabla de factores de conversión por tipo de vehículo, lo cual permitirá realizar un análisis más preciso del volumen vehicular horario. Esta clasificación contribuirá a representar de manera más realista el impacto de cada tipo de vehículo en la congestión y el flujo del tránsito.

Tabla 1

Unidades equivalentes por vehículo

Tipo de vehículo	PCU sugerido (urbano Perú)
Moto lineal	0,33
Mototaxi	0,75
Auto / taxi / pick-up	1,00
Combi	1,25
Microbús	2,00

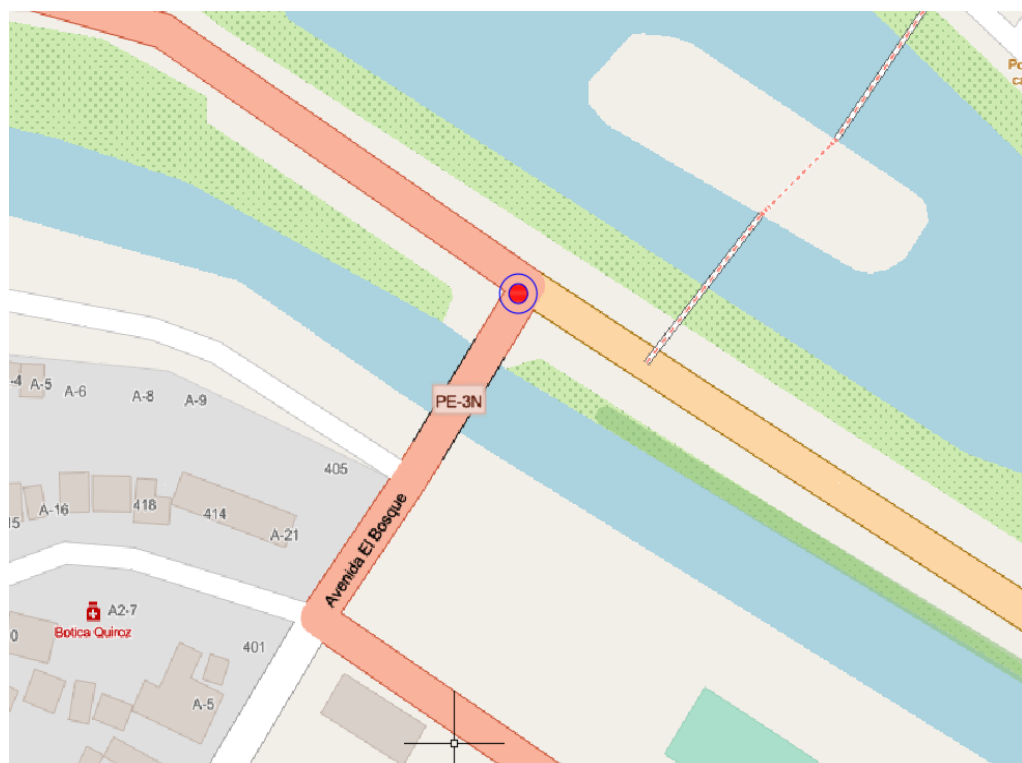
Ómnibus	3,00
Camión 2 ejes	2,50
Camión ≥ 3 ejes	3,50

Fuente: (Transportation Research Board, 2010).

4.1.3 PRIMERA INTERSECCIÓN EN ANÁLISIS

Figura 1

Vista en planta de la intersección Av. El Bosque - Jr. Viña del Río



Fuente: Google Earth.

La imagen presenta la primera intersección analizada, ubicada entre la Avenida El Bosque y el Jirón Viña del Río, la cual fue seleccionada debido a los elevados niveles de congestión vehicular que presenta. Con el objetivo de mitigar esta problemática, se plantea un análisis de semaforización empleando como herramienta principal el software Synchro 11.

4.1.4 CONTEO VEHICULAR – PRIMERA INTERSECCIÓN

Sentido Noroeste y Sentido Sureste

Figura 2

Direcciones de flujo vehicular de la primera intersección NO/SE



Fuente: Vuelo de dron.

La imagen muestra dos sentidos de circulación considerados como referencia desde el norte. En estas direcciones se efectuó un conteo vehicular durante una hora, en tres franjas horarias distintas correspondientes a las horas pico previamente identificadas para el análisis del tráfico, las cuales se detallan a continuación.

Tabla 2

Conteo de vehículos 7:00 am - 8:00 am

Vehículos	Sentido Noroeste	Conversión PCU	Sentido Sureste	Conversión PCU
Mototaxis	289	216	225	168
Moto	89	29	118	38
Auto	47	47	181	181
Camionetas	36	36	49	49
Combis	77	96	10	12
Total	538	424	583	448

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 424 PCU en dirección noroeste y 448 PCU en dirección sureste.

Tabla 3

Conteo de vehículos 12:30 pm - 01:30 pm

Vehículos	Sentido Noroeste	Conversión PCU	Sentido Sureste	Conversión PCU
Mototaxis	192	144	203	152
Moto	125	41	159	52
Auto	51	51	124	124
Camionetas	17	17	59	59
Combis	51	63	13	16
Total	436	316	558	403

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 316 PCU en dirección noroeste y 403 PCU en dirección sureste.

Tabla 4

Conteo de vehículos 6:30 pm - 7:30 pm

Vehículos	Sentido Noroeste	Conversión PCU	Sentido Sureste	Conversión PCU
Mototaxis	225	168	196	147
Moto	99	32	117	38
Auto	50	50	168	168
Camionetas	28	28	46	46
Combis	65	81	8	10
Total	467	359	535	409

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 359 PCU en dirección noroeste y 409 PCU en dirección sureste.

Sentido Sureste y Sentido Suroeste

Figura 3

Direcciones de flujo vehicular de la primera intersección SE/SO



Fuente: Vuelo de dron.

La imagen muestra dos sentidos de circulación considerados como referencia desde el norte. En estas direcciones se efectuó un conteo vehicular durante una hora, en tres franjas horarias distintas correspondientes a las horas pico previamente identificadas para el análisis del tráfico, las cuales se detallan a continuación.

Tabla 5

Conteo de vehículos 7:00 am - 8:00 am

Vehículos	Sentido Sureste	Conversión PCU	Sentido Suroeste	Conversión PCU
Mototaxis	84	63	256	192
Moto	54	17	103	34
Auto	43	43	79	79
Camionetas	44	44	66	66
Combis	1	1	67	83
Total	226	168	571	454

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 168 PCU en dirección sureste y 454 PCU en dirección suroeste.

Tabla 6

Conteo de vehículos 12:30 pm - 01:30 pm

Vehículos	Sentido Sureste	Conversión PCU	Sentido Suroeste	Conversión PCU
Mototaxis	75	56	326	244
Moto	27	8	140	46
Auto	29	29	73	73
Camionetas	19	19	54	54
Combis	1	1	57	71
Total	151	113	650	488

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 113 PCU en dirección sureste y 488 PCU en dirección suroeste.

Tabla 7

Conteo de vehículos 6:30 pm - 7:30 pm

Vehículos	Sentido Sureste	Conversión PCU	Sentido Suroeste	Conversión PCU
Mototaxis	59	44	317	237
Moto	30	10	199	65
Auto	29	29	113	113
Camionetas	22	22	60	60
Combis	0	0	60	75
Total	140	105	749	550

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 105 PCU en dirección sureste y 550 PCU en dirección suroeste.

Sentido Noroeste y Sentido Suroeste

Figura 4

Direcciones de flujo vehicular de la primera intersección NO/SO



Fuente: Vuelo de dron.

La imagen muestra dos sentidos de circulación considerados como referencia desde el norte. En estas direcciones se efectuó un conteo vehicular durante una hora, en tres franjas horarias distintas correspondientes a las horas pico previamente identificadas para el análisis del tráfico, las cuales se detallan a continuación.

Tabla 8

Conteo de vehículos 7:00 am - 8:00 am

Vehículos	Sentido Noroeste	Conversión PCU	Sentido Suroeste	Conversión PCU
Mototaxis	55	41	140	105
Moto	16	5	66	21
Auto	15	15	110	110
Camionetas	33	33	36	36
Combis	0	0	13	26
Total	119	94	352	298

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 94 PCU en dirección noroeste y 298 PCU en dirección suroeste.

Tabla 9

Conteo de vehículos 12:30 pm - 1:30 pm

Vehículos	Sentido Noroeste	Conversión PCU	Sentido Suroeste	Conversión PCU
Mototaxis	82	61	130	97
Moto	51	16	105	34
Auto	26	26	120	120
Camionetas	27	27	73	73
Combis	1	1	11	13
Total	187	131	439	337

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 131 PCU en dirección noroeste y 337 PCU en dirección suroeste.

Tabla 10

Conteo de vehículos 6:30 pm - 7:30 pm

Vehículos	Sentido Noroeste	Conversión PCU	Sentido Suroeste	Conversión PCU
Mototaxis	63	47	222	166
Moto	42	31	171	128
Auto	21	21	176	176
Camionetas	9	9	72	72
Combis	2	3	15	18
Total	137	111	656	560

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 111 PCU en dirección noroeste y 560 PCU en dirección suroeste.

4.1.5 RESUMEN DE CONTEO PARA LA 1RA INTERSECCIÓN

Para fines de estimación de datos, se utilizará el promedio de los tres periodos de hora pico registrados para cada sentido de circulación.

Tabla 11

Resumen de conteo para la 1ra intersección en PCU

Media (Veh/hora)	Sentidos de circulación					
	1ra figura		2da figura		3ra figura	
	Noroeste	Sureste	Sureste	Suroeste	Noroeste	Suroeste
	366	420	128	497	112	398

En la tabla se presentan los promedios de tráfico vehicular en todos los sentidos de circulación correspondientes a la primera intersección. Estos valores fueron obtenidos tras la conversión de los datos originales a Unidades Equivalentes a Automóviles (PCU), con el propósito de facilitar el análisis del flujo vehicular desde una perspectiva de tráfico lineal.

4.1.6 ANÁLISIS EN SYNCHRO 11 - 1RA INTERSECCIÓN

Una vez culminado el conteo vehicular en campo, se procedió a desarrollar la modelación y el análisis de la semaforización utilizando el software Synchro 11, correspondiente a la primera intersección evaluada.

Figura 5

Configuración de los carriles

LANE SETTINGS	 EBT	 EBR	 WBL	 WBT	 NBL	 NBR
Lanes and Sharing (#RL)						
Traffic Volume (vph)	128	497	398	112	366	420
Future Volume (vph)	128	497	398	112	366	420
Street Name	Jr. Viña Del Río		Jr. Viña Del Río		AV. EL BOSQUE	
Link Distance (m)	274.3	—	—	720.9	243.8	—
Links Speed (km/h)	50	—	—	50	50	—
Set Arterial Name and Speed	EB	—	—	WB	NB	—
Travel Time (s)	19.7	—	—	51.9	17.6	—
Ideal Satd. Flow (vphpl)	2400	2400	2400	2400	2400	2400
Lane Width (m)	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
Grade (%)	0	—	—	0	0	—
Area Type CBD	☒	—	—	☒	☒	—

Fuente: Software Synchro 11.

Interpretación:

En la figura se presentan los datos obtenidos a partir del conteo vehicular realizado en campo, los cuales fueron ingresados en el ítem “Traffic Volume (vph)”, donde se cuantifica la cantidad de vehículos en circulación durante un periodo de una hora, debidamente etiquetados según la vía correspondiente, entre ellas el Jr. Viña del Río y la Av. El Bosque.

Cabe destacar que se estableció un límite de velocidad de circulación de 50 km/h y se consideró un ancho de vía de 4.8 metros por carril, sin presencia de pendientes. Asimismo, se activó la opción Área type: CBD (Central Business District), que permite al software identificar que la intersección analizada pertenece a una zona céntrica de la ciudad.

Esta configuración influye directamente en los cálculos realizados por el programa, ya que adapta los parámetros conforme a lo establecido en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM).

Figura 6

Parámetros introducidos en el software

VOLUME SETTINGS	 EBT	 EBR	 WBL	 WBT	 NBL	 NBR
⌵ Lanes and Sharing (#RL)	↑			↑	↑	↑
⌵ Traffic Volume (vph)	128	497	398	112	366	420
⌵ Development Volume (vph)	0	0	0	0	0	0
⌵ Combined Volume (vph)	128	497	398	112	366	420
⌵ Future Volume (vph)	128	497	398	112	366	420
⌵ Conflicting Peds. (#/hr)	—	0	0	—	0	0
⌵ Conflicting Bicycles (#/hr)	—	0	—	—	—	0
⌵ Peak Hour Factor	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
⌵ Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
⌵ Adjusted Flow (vph)	139	540	433	122	398	457
⌵ Heavy Vehicles (%)	2	2	2	2	2	2

Fuente: Software Synchro 11.

Interpretación:

En la figura se muestran los datos correspondientes al volumen de tráfico vehicular, los cuales fueron previamente ingresados y que el software recopila automáticamente en esta ventana. Asimismo, se presentan nuevos parámetros a definir, tales como la cantidad de peatones en circulación (Conflicting Peds) y la cantidad de ciclistas (Conflicting Bicycles), ambos establecidos en 0, ya que esta zona no presenta un flujo significativo de peatones ni ciclistas, según la observación en campo.

Por otro lado, se consideró un 2% de vehículos pesados, de acuerdo con los datos obtenidos durante el conteo vehicular. De esta manera, se busca que el modelo represente de forma más precisa las condiciones reales de operación. Es importante destacar que los valores resaltados en color azul corresponden a resultados calculados

automáticamente por el software, conforme a los lineamientos establecidos en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM).

Figura 7

Resultados de configuración de semaforización inicial

Speed limit (km/h)	50	—	—	50	50	—
Actuated Effct. Green (s)	32.0	—	—	32.0	32.0	32.0
Actuated g/C Ratio	0.30	—	—	0.30	0.30	0.30
Volume to Capacity Ratio	0.86	—	—	0.79	0.57	0.49
Control Delay (s)	37.3	—	—	42.9	34.7	4.5
Queue Delay (s)	0.0	—	—	0.0	0.0	0.0
Total Delay (s)	37.3	—	—	42.9	34.7	4.5
Level of Service	D	—	—	D	C	A
Approach Delay (s)	37.3	—	—	42.9	18.6	—

Fuente: Software Synchro 11.

Interpretación:

En la figura se presentan los resultados de la semaforización obtenidos a partir de los datos previamente ingresados. Estos valores son generados por defecto por el software en una primera instancia, siguiendo los lineamientos del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM).

Entre los indicadores más relevantes se encuentra el grado de saturación o Volume to Capacity Ratio para cada una de las vías de circulación, registrando un valor máximo de 0.86. Este valor indica que la capacidad de la vía o intersección es aún suficiente para soportar el volumen de tráfico, aunque se aproxima a niveles de saturación.

Asimismo, se identifican los niveles de servicio individuales por aproximación, los cuales son D, D, C y A. En conjunto, estos valores permiten establecer un nivel de servicio global para la intersección de tipo C, lo cual representa una condición de congestión moderada, pero con flujo aún estable.

Finalmente, se reporta un tiempo promedio de demora total de 31.1 segundos para la intersección.

Figura 8

Resultados de configuración de semaforización optimizada

◊ Speed limit (km/h)	50	—	—	50	50	—
◊ Actuated Effct. Green (s)	22.0	—	—	22.0	22.0	22.0
◊ Actuated g/C Ratio	0.29	—	—	0.29	0.29	0.29
◊ Volume to Capacity Ratio	0.83	—	—	0.82	0.60	0.50
◊ Control Delay (s)	25.8	—	—	36.6	27.1	4.3
◊ Queue Delay (s)	0.0	—	—	0.0	0.0	0.0
◊ Total Delay (s)	25.8	—	—	36.6	27.1	4.3
◊ Level of Service	C	—	—	D	C	A
◊ Approach Delay (s)	25.8	—	—	36.6	14.9	—

Fuente: Software Synchro 11.

Interpretación:

En la figura se muestra la configuración de la semaforización optimizada, cuyo objetivo es mejorar las condiciones de circulación vehicular en la intersección analizada. Entre las principales mejoras se encuentra la reducción del grado de saturación (Volume to Capacity Ratio), cuyo valor máximo disminuyó a 0.83, lo cual representa una mejora respecto al valor anterior (0.86) y evidencia una mayor capacidad de la intersección para absorber volúmenes de tráfico elevados.

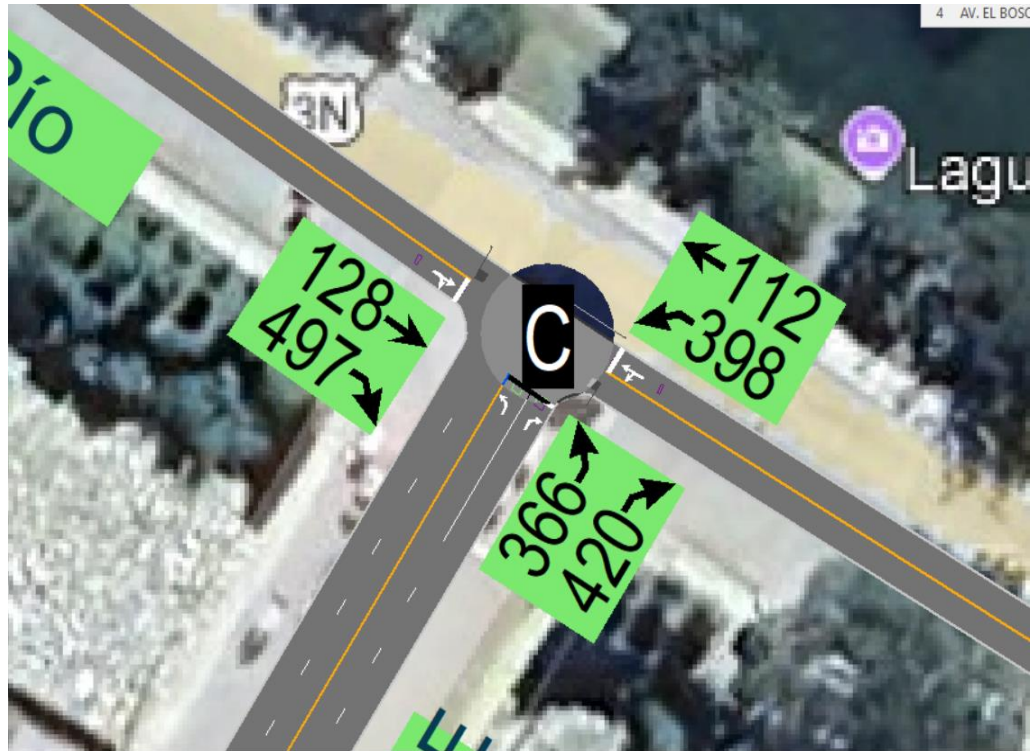
Asimismo, se observa una mejora en los niveles de servicio individuales por vía, los cuales pasaron a ser C, D, C y A. Esto mantiene un nivel de servicio global de tipo C para la intersección, pero con una distribución más eficiente y balanceada en comparación con los valores anteriores, lo que contribuye a una circulación más fluida.

Finalmente, se registra una reducción en el tiempo promedio de demora, que pasó de 31.1 a 24.2 segundos, reflejando una mejora significativa en los tiempos de espera vehicular.

Es importante destacar que esta propuesta de optimización es generada automáticamente por el software, en función de los datos introducidos y conforme a los lineamientos establecidos en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM).

Figura 9

Volumen de tráfico y nivel de servicio



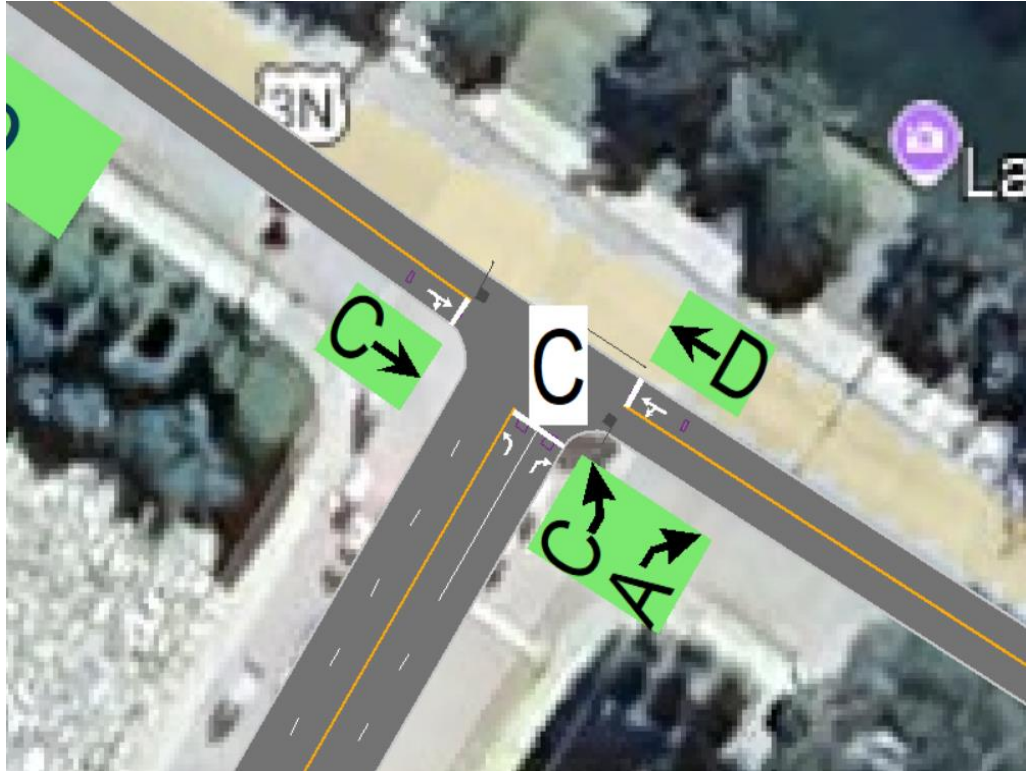
Fuente: Software Synchro 11.

Interpretación:

En la figura se presentan los datos del volumen vehicular horario obtenidos a partir del conteo realizado en campo para cada sentido de circulación. Para la modelación, se consideró una velocidad máxima de 50 km/h. A partir de esta información, el software clasificó la intersección con un nivel de servicio C, lo que indica una congestión moderada, pero con un flujo aún estable.

Figura 10

Niveles de servicio optimizada por sentido de circulación



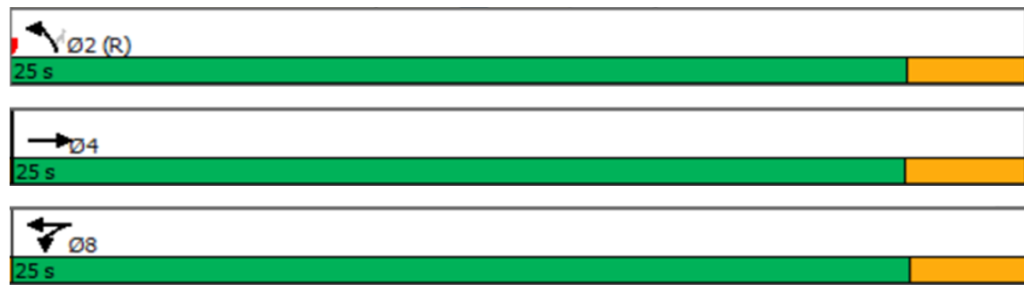
Fuente: Software Synchro 11.

Interpretación:

En la figura se muestra cómo el software clasifica cada sentido de circulación según el nivel de servicio, en función del volumen vehicular horario y considerando una velocidad límite de 50 km/h en la intersección evaluada. Entre los resultados obtenidos destacan los niveles de servicio D, C y A, lo que evidencia una congestión moderada en uno de los sentidos de circulación y moderada en la mayoría de los sentidos, con un flujo relativamente estable.

Figura 11

Tiempo de semaforización resultante



Fuente: Software Synchro 11.

Interpretación:

Finalmente, el software proporciona los tiempos de semaforización correspondientes a la optimización realizada previamente, tomando como base los datos ingresados y los lineamientos del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM). Como resultado, se plantea la instalación de tres semáforos para regular de manera eficiente el tránsito vehicular en todos los sentidos de la intersección analizada.

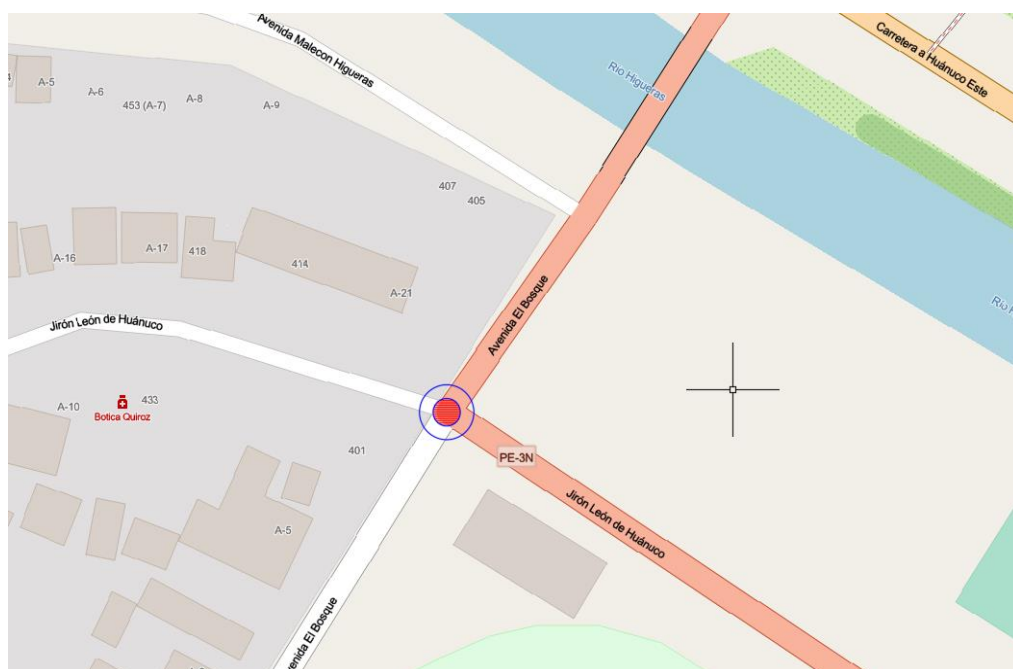
Cada uno de los semáforos propuestos presenta una programación con 22 segundos de luz verde, 3 segundos de luz amarilla y 50 segundos de luz roja, conformando un ciclo total de 75 segundos. Esta configuración busca optimizar la circulación vehicular, reducir la congestión y mejorar el orden del tránsito en los diferentes accesos de la intersección.

4.1.7 SEGUNDA INTERSECCIÓN EN ANÁLISIS

En esta sección se presenta el análisis del tráfico vehicular correspondiente a la segunda intersección en estudio, ubicada en la intersección de la Av. El Bosque con el Jr. León de Huánuco. A continuación, se detallan los resultados obtenidos:

Figura 12

Vista en planta de la intersección Av. El Bosque - Jr. León de Huánuco



Fuente: Google Earth.

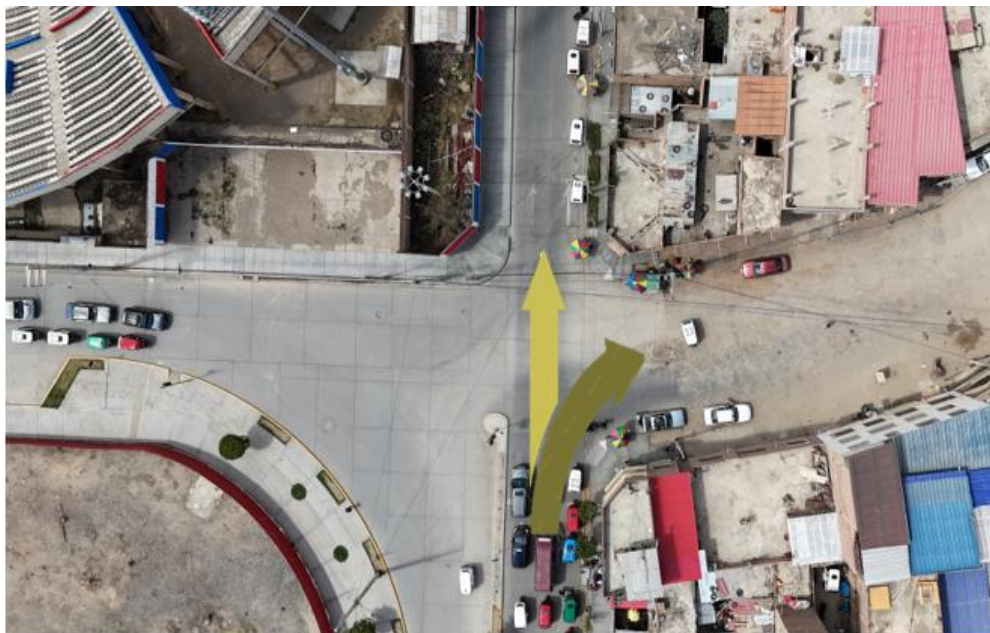
La imagen corresponde a la segunda intersección en análisis, la cual también presenta problemas de congestión vehicular. Con el propósito de mejorar esta situación, se plantea una propuesta de semaforización mediante el uso del software Synchro 11.

4.1.8 CONTEO VEHICULAR – SEGUNDA INTERSECCIÓN

Sentido Sureste y Sentido Suroeste

Figura 13

Direcciones de flujo vehicular de la segunda intersección SE/SO



Fuente: Vuelo de dron.

En la figura se distinguen dos sentidos de circulación vehicular correspondientes a la segunda intersección analizada. El conteo se realizó durante las tres horas pico del día, tal como se detalla a continuación.

Tabla 12

Conteo de vehículos 7:00 am - 8:00 am

Vehículos	Sentido Sureste	Conversión PCU	Sentido Suroeste	Conversión PCU
Mototaxis	286	214	117	87
Moto	143	47	26	8
Auto	157	157	22	22
Camionetas	47	47	4	4
Combis	69	86	0	0
Total	702	551	169	121

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 551 PCU en dirección sureste y 121 PCU en dirección suroeste.

Tabla 13

Conteo de vehículos 12:30 pm - 1:30 pm

Vehículos	Sentido Sureste	Conversión PCU	Sentido Suroeste	Conversión PCU
Mototaxis	389	291	83	62
Moto	222	73	48	15
Auto	239	239	11	11
Camionetas	44	44	5	5
Combis	87	108	0	0
Total	981	755	147	93

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 775 PCU en dirección sureste y 93 PCU en dirección suroeste.

Tabla 14

Conteo de vehículos 6:30 pm - 7:30 pm

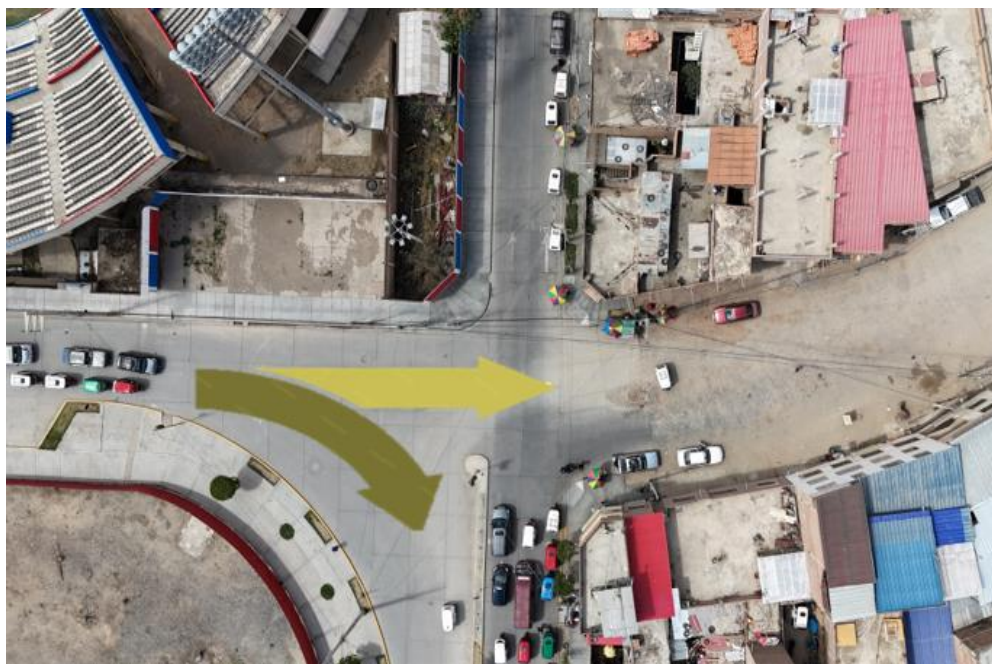
Vehículos	Sentido Sureste	Conversión PCU	Sentido Suroeste	Conversión PCU
Mototaxis	431	323	72	54
Moto	36	11	54	17
Auto	209	209	18	18
Camionetas	9	9	48	48
Combis	84	105	0	0
Total	769	657	192	137

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 657 PCU en dirección sureste y 137 PCU en dirección suroeste.

Sentido Noroeste y Sentido Noreste

Figura 14

Direcciones de flujo vehicular de la segunda intersección NO/NE



Fuente: Vuelo de dron.

En la figura se identifican dos sentidos adicionales de circulación vehicular correspondientes a la segunda intersección analizada. El conteo fue realizado durante las tres horas pico del día, según se detalla a continuación.

Tabla 15

Conteo de vehículos 7:00 am - 8:00 am

Vehículos	Sentido Noroeste	Conversión PCU	Sentido Noreste	Conversión PCU
Mototaxis	5	3	364	273
Moto	4	1	242	79
Auto	4	4	301	301
Camionetas	3	3	83	83
Combis	1	1	92	115
Total	17	12	1082	851

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes

a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 12 PCU en dirección noroeste y 851 PCU en dirección noreste.

Tabla 16

Conteo de vehículos 12:30 pm - 1:30 pm

Vehículos	Sentido Noroeste	Conversión PCU	Sentido Noreste	Conversión PCU
Mototaxis	6	4	289	216
Moto	8	2	196	64
Auto	3	3	236	236
Camionetas	2	2	68	68
Combis	2	3	79	98
Total	21	14	868	682

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 14 PCU en dirección noroeste y 682 PCU en dirección noreste.

Tabla 17

Conteo de vehículos 12:30 pm - 1:30 pm

Vehículos	Sentido Noroeste	Conversión PCU	Sentido Noreste	Conversión PCU
Mototaxis	17	12	380	285
Moto	12	3	269	88
Auto	8	8	204	204
Camionetas	1	1	81	81
Combis	0	0	82	102
Total	38	24	1016	760

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 24 PCU en dirección noroeste y 760 PCU en dirección noreste.

Sentido Suroeste y Sentido Noreste

Figura 15

Direcciones de flujo vehicular de la segunda intersección SO/NE



Fuente: Vuelo de dron.

En la figura se identifican dos sentidos adicionales de circulación vehicular correspondientes a la segunda intersección analizada. El conteo fue realizado durante las tres horas pico del día, según se detalla a continuación.

Tabla 18

Conteo de vehículos 7:00 am - 8:00 am

Vehículos	Sentido suroeste	Conversión PCU	Sentido noreste	Conversión PCU
Mototaxis	166	124	13	9
Moto	83	27	3	1
Auto	38	38	0	0
Camionetas	19	19	1	1
Combis	6	7	0	0
Total	312	215	17	11

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 215 PCU en dirección suroeste y 11 PCU en dirección noreste.

Tabla 19*Conteo de vehículos 12:30 pm - 1:30 pm*

Vehículos	Sentido suroeste	Conversión PCU	Sentido noreste	Conversión PCU
Mototaxis	178	133	3	2
Moto	77	25	3	1
Auto	36	36	1	1
Camionetas	16	16	2	2
Combis	5	5	0	0
Total	312	215	9	6

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 215 PCU en dirección suroeste y 6 PCU en dirección noreste.

Tabla 20*Conteo de vehículos 6:30 pm - 7:30 pm*

Vehículos	Sentido suroeste	Conversión PCU	Sentido noreste	Conversión PCU
Mototaxis	148	111	1	1
Moto	107	35	1	1
Auto	44	44	0	0
Camionetas	20	20	0	0
Combis	0	0	0	0
Total	319	210	2	2

La tabla presenta la cantidad de vehículos registrados durante una hora, clasificados por tipo y convertidos a Unidades Equivalentes a Automóvil Particular (PCU). El análisis arroja un total de 210 PCU en dirección suroeste y 2 PCU en dirección noreste.

4.1.9 RESUMEN DE CONTEO PARA LA 2DA INTERSECCIÓN

Para fines de estimación de datos, se utilizará el promedio de los tres periodos de hora pico registrados para cada sentido de circulación.

Tabla 21

Resumen de conteo para la 2da intersección en PCU

	Sentidos de circulación					
	1ra figura		2da figura		3ra figura	
	Sureste	Suroeste	Noroeste	Noreste	Suroeste	Noreste
Media (Veh/hora)	654	117	16	764	213	6

En la tabla se presentan los promedios de tráfico vehicular en todos los sentidos de circulación correspondientes a la segunda intersección. Estos valores fueron obtenidos tras la conversión de los datos originales a Unidades Equivalentes a Automóviles (PCU), con el propósito de facilitar el análisis del flujo vehicular desde una perspectiva de tráfico lineal.

4.1.10 ANÁLISIS EN SYNCHRO 11 – 2DA INTERSECCIÓN

Una vez finalizado el conteo vehicular en campo, se procedió con la modelación y el análisis de la semaforización de la segunda intersección evaluada, utilizando el software Synchro 11.

Figura 16

Configuración de los carriles

LANE SETTINGS												
	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR	SEL	SET	SER	NwL	NwT	NwR
Lanes and Sharing (#RL)												
Traffic Volume (vph)	0	0	0	654	117	0	0	0	213	0	16	764
Future Volume (vph)	0	0	0	654	117	0	0	0	213	0	16	764
Street Name	AV. EL BOSQUE			AV. EL BOSQUE			Jr. León de Huánuco			Jr. León de Huánuco		
Link Distance (m)	199.9			243.8			76.5			164.2		
Links Speed (km/h)	50			50			30			30		
Set Arterial Name and Speed	NB			SB			SE			NW		
Travel Time (s)	14.4			17.6			9.2			19.7		
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width (m)	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
Grade (%)	0			0			0			0		
Area Type CBD	☒			☒			☒			☒		

Fuente: Software Synchro 11.

Interpretación:

En la figura se muestran los datos obtenidos del conteo vehicular realizado en campo, los cuales fueron ingresados en el apartado “Traffic Volume (vph)” del software, permitiendo cuantificar el número de vehículos en circulación durante un periodo de una hora. Estos datos fueron correctamente etiquetados según la vía correspondiente, tales como el Jr. León de Huánuco y la Av. El Bosque.

Se estableció un límite de velocidad de 50 km/h y se consideró un ancho de vía de 4.8 metros por carril, ya que este conecta con la primera intersección evaluada y no presenta pendientes. Además, se activó la opción Area Type: CBD (Central Business District), lo que indica al software que la intersección se ubica en una zona céntrica de la ciudad. Esta configuración influye directamente en los cálculos del programa, ya que ajusta los parámetros conforme a los criterios establecidos en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM).

Figura 17*Parámetros introducidos en Synchro 11*

VOLUME SETTINGS	 NBL	 NBT	 NBR	 SBL	 SBT	 SBR	 SEL	 SET	 SER	 NWL	 NWT	 NWR
 Lanes and Sharing (#RL)												
 Traffic Volume (vph)	0	0	0	654	117	0	0	0	213	0	16	764
 Development Volume (vph)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
 Combined Volume (vph)	0	0	0	654	117	0	0	0	213	0	16	764
 Future Volume (vph)	0	0	0	654	117	0	0	0	213	0	16	764
 Conflicting Peds. (#/hr)	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0
 Conflicting Bicycles (#/hr)	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0
 Peak Hour Factor	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
 Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
 Adjusted Flow (vph)	0	0	0	711	127	0	0	0	232	0	17	830
 Heavy Vehicles (%)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

*Fuente: Software Synchro 11.***Interpretación:**

En la figura se muestran los datos correspondientes al volumen de tráfico vehicular, los cuales fueron previamente ingresados al sistema y recopilados automáticamente por el software en esta ventana. Asimismo, se visualizan parámetros adicionales por definir, tales como la cantidad de peatones en circulación (Conflicting Peds) y ciclistas (Conflicting Bicycles), ambos establecidos en cero, dado que, según la observación en campo, esta zona no presenta un flujo significativo de dichos usuarios.

Adicionalmente, se consideró un 2% de vehículos pesados, en función de los datos registrados durante el conteo vehicular. Esta configuración permite que el modelo represente de manera más precisa las condiciones reales de operación. Cabe resaltar que los valores resaltados en color azul corresponden a resultados calculados automáticamente por el software, conforme a los lineamientos establecidos en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM).

Figura 18

Resultados de configuración de semaforización inicial

◇ Speed limit (km/h)	—	50	—	—	50	—	—	50	—
◇ Actuated Effct. Green (s)	—	18.0	—	—	—	18.0	—	18.0	18.0
◇ Actuated g/C Ratio	—	0.40	—	—	—	0.40	—	0.40	0.40
◇ Volume to Capacity Ratio	—	1.15	—	—	—	0.21	—	0.02	0.73
◇ Control Delay (s)	—	102.5	—	—	—	0.4	—	8.4	5.6
◇ Queue Delay (s)	—	0.0	—	—	—	0.0	—	0.0	0.0
◇ Total Delay (s)	—	102.5	—	—	—	0.4	—	8.4	5.6
◇ Level of Service	—	F	—	—	—	A	—	A	A

Fuente: Software Synchro 11.

Interpretación:

En la figura se presentan los resultados de la semaforización generados a partir de los datos previamente ingresados. Estos valores son calculados inicialmente por el software de forma predeterminada, en concordancia con los lineamientos establecidos por el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM).

Entre los indicadores más relevantes se encuentra el grado de saturación o Volume to Capacity Ratio (v/c) para cada una de las vías de circulación, registrándose un valor máximo de 1.15. Este valor refleja que la intersección presenta una condición de congestión vehicular severa, caracterizada por un flujo caótico.

Asimismo, se identificaron los niveles de servicio individuales por aproximación, los cuales fueron F, A, A y A. En conjunto, estos resultados permiten clasificar el nivel de servicio global de la intersección como tipo D, lo que indica una condición de congestión moderada, con un flujo cercano a la inestabilidad.

Finalmente, se obtuvo un tiempo promedio de demora total de 47.3 segundos para esta intersección, reflejando el tiempo que los vehículos deben esperar en promedio para completar su trayectoria.

Figura 19*Resultados de configuración de semaforización optimizada*

◊ Speed limit (km/h)	—	50	—	—	50	—	—	50	—
◊ Actuated Effct. Green (s)	—	32.9	—	—	—	18.1	—	18.1	18.1
◊ Actuated g/C Ratio	—	0.55	—	—	—	0.30	—	0.30	0.30
◊ Volume to Capacity Ratio	—	0.84	—	—	—	0.22	—	0.03	0.78
◊ Control Delay (s)	—	21.5	—	—	—	0.5	—	15.1	8.0
◊ Queue Delay (s)	—	0.0	—	—	—	0.0	—	0.0	0.0
◊ Total Delay (s)	—	21.5	—	—	—	0.5	—	15.1	8.0
◊ Level of Service	—	C	—	—	—	A	—	B	A

*Fuente: Software Synchro 11.***Interpretación:**

En la figura se muestra la configuración correspondiente a la semaforización optimizada, cuyo objetivo principal es mejorar las condiciones de circulación vehicular en la intersección evaluada. Entre las principales mejoras se destaca la reducción del grado de saturación (Volume to Capacity Ratio), cuyo valor máximo disminuyó de 1.15 a 0.84, lo que evidencia una mayor capacidad operativa de la intersección para absorber volúmenes elevados de tráfico.

Asimismo, se observa una mejora en los niveles de servicio individuales por aproximación, que pasaron a ser C, A, B y A. Esto mantiene un nivel de servicio global de tipo B, pero con una distribución más equilibrada y eficiente respecto a la configuración inicial, lo cual contribuye a una circulación más fluida y estable.

Finalmente, se reporta una reducción significativa en el tiempo promedio de demora, que pasó de 47.3 a 13.1 segundos, reflejando una mejora sustancial en los tiempos de espera vehicular.

Cabe resaltar que esta propuesta de optimización fue generada automáticamente por el software, en función de los datos ingresados y en cumplimiento con los lineamientos establecidos en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM).

Figura 20

Volumen de tráfico y nivel de servicio



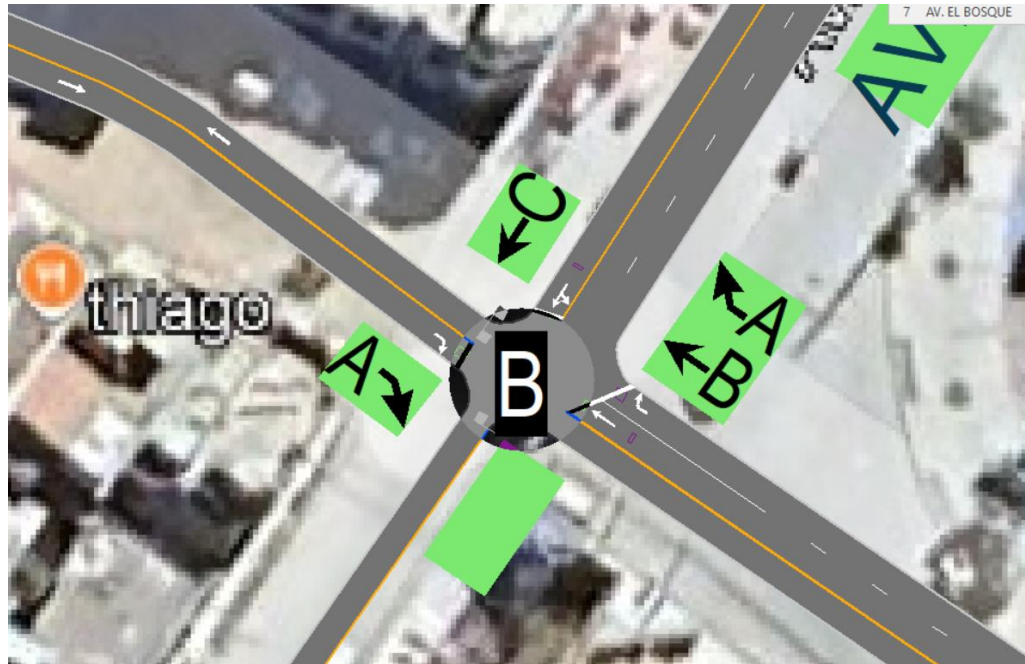
Fuente: Software Synchro 11.

Interpretación:

En la figura se presentan los datos del volumen vehicular horario obtenidos a partir del conteo realizado en campo para cada sentido de circulación. Para la modelación, se consideró una velocidad máxima permitida de 50 km/h. Con base en esta información, el software clasificó la intersección con un nivel de servicio tipo B, lo que representa una condición de congestión moderada, pero con un flujo vehicular aún estable y aceptable.

Figura 21

Niveles de servicio optimizada por sentido de circulación



Fuente: Software Synchro 11.

Interpretación:

En la figura se muestra la clasificación del nivel de servicio asignado por el software a cada sentido de circulación, en función del volumen vehicular horario registrado y considerando una velocidad límite de 50 km/h en la intersección evaluada. Entre los resultados obtenidos destacan los niveles de servicio C, B y A, lo que indica la presencia de una congestión moderada en uno de los sentidos y condiciones de flujo vehicular estable en la mayoría de las direcciones.

Figura 22

Tiempo de semaforización resultante



Fuente: Software Synchro 11.

Interpretación:

Finalmente, el software proporciona los tiempos de semaforización correspondientes a la optimización realizada previamente, tomando como base los datos ingresados y los lineamientos establecidos en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM). Como resultado, se propone la instalación de tres semáforos para regular de manera eficiente el tránsito vehicular en todos los sentidos de la intersección analizada.

La programación semafórica para los dos primeros semáforos contempla 21.5 segundos de luz verde, 3.5 segundos de luz amarilla y 3.5 segundos de luz roja. Para el tercer semáforo, se establecen 31.5 segundos de luz verde, 3.5 segundos de luz amarilla y 2.5 segundos de luz roja. En todos los casos, el ciclo total es de 60 segundos.

Esta configuración tiene como objetivo optimizar la circulación vehicular, reducir la congestión y mejorar el orden del tránsito en los distintos accesos de la intersección.

4.1.11 ANÁLISIS DE COSTOS POR SEMAFORIZACIÓN

En esta sección se expone el análisis de costos, considerando las partidas más representativas asociadas a la implementación de semáforos dentro de la evaluación económica, en función de la propuesta de semaforización previamente modelada.

Para ello, se tomó como referencia el semáforo existente en la intersección de ingreso al puente San Sebastián – Huánuco, así como el semáforo propuesto en la intersección del puente Daniel Alomía Robles. Ambos dispositivos corresponden a modelos típicos de semáforo de tres luces: verde, ámbar y rojo.

Para tal fin, se recopiló información referida a los costos y demás componentes técnicos a partir del expediente técnico titulado “Renovación de semáforo en la ciudad de Huánuco, distrito de Huánuco, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco”, identificado con el CUI N.º 2652239, aprobado mediante la Resolución Gerencial N.º 0385-2024-MPHCO-GM.

SEMÁFORO EN LAS INTERSECCIONES DEL PUENTE SAN SEBASTIÁN

Tabla 22

Análisis presupuestal de la implementación del semáforo vehicular en el Puente San Sebastián

Nº	Partida	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/)	Subtotal (S/)
1	Semáforo vehicular LED 3×300mm	und	1	302.35	302.35
2	Poste metálico galvanizado	und	1	1,200.00	1,200.00
3	Excavación y cimentación	und	1	350.00	350
4	Canalización y ductos eléctricos	ml	20	45.00	900

5	Cableado y conexión al sistema eléctrico	ml	40	30.00	1,200.00
6	Controlador semafórico (4-5 fases)	und	1	513.58	513.58
7	Calibración y pruebas de funcionamiento	global	1	1,200.00	1,200.00
Total					5,665.93

Fuente. *Municipalidad de Huánuco.*

SEMÁFORO PROPUESTO EN LAS INTERSECCIONES DEL PUENTE DANIEL ALOMÍA ROBLES

Tabla 23

Análisis presupuestal para la propuesta de implementación del semáforo vehicular en el Puente Daniel Alomía Robles

Nº	Partida	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/)	Subtotal (S/)
1	Semáforo vehicular LED 3×300mm	und	1	302.35	302.35
2	Poste metálico galvanizado doble brazo	und	1	1,500.00	1,500.00
3	Excavación y cimentación	und	1	400.00	400
4	Canalización y ductos eléctricos	ml	30	45.00	1,350.00
5	Cableado y conexión al sistema eléctrico	ml	50	30.00	1,500.00
6	Controlador semafórico (Synchro-compatible)	und	1	513.58	513.58
7	Calibración, programación y puesta en servicio	global	1	1,500.00	1,500.00
Total					7,065.93

La comparación entre los costos estimados para la implementación de un semáforo en el Puente San Sebastián y en el Puente Daniel Alomía Robles evidencia diferencias sustanciales atribuibles principalmente al tipo de infraestructura requerida en cada ubicación. En el caso del Puente San Sebastián, el presupuesto total asciende a S/ 5,665.93, mientras que en el Puente Daniel Alomía Robles el monto estimado se incrementa a S/ 7,065.93, representando una diferencia de aproximadamente 24.7%.

Esta variación se justifica, en primer lugar, por la necesidad de utilizar un poste metálico doble brazo en la propuesta del Puente Daniel Alomía Robles, debido a las condiciones geométricas del cruce y la densidad vehicular proyectada, lo cual eleva su costo unitario respecto al poste estándar usado en el Puente San Sebastián. Asimismo, se observa una mayor longitud de canalización y cableado eléctrico en el segundo caso, lo que responde a una disposición más compleja en cuanto a ubicación de ductos y acometidas eléctricas.

Otro punto relevante es que en la propuesta del Puente Daniel Alomía Robles se contempla un mayor gasto en la programación y puesta en funcionamiento, lo cual responde a la necesidad de compatibilizar el sistema con una futura red semafórica coordinada mediante el software Synchro. Esta condición técnica incrementa el costo de la partida relacionada a calibración y pruebas, diferenciándose del sistema convencional ya instalado en San Sebastián.

En conjunto, la comparación permite evidenciar cómo los factores topográficos, funcionales y tecnológicos influyen directamente en la configuración presupuestal de cada caso, siendo la propuesta del Puente Daniel Alomía Robles una solución más avanzada y adaptable a un sistema de gestión de tráfico optimizado, lo que justifica su inversión superior.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

PARA LA HIPÓTESIS GENERAL:

HG: La implementación de un sistema de semaforización optimizado reduce significativamente el nivel de congestión vehicular en las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles, Huánuco.

La contrastación de la hipótesis general se sustenta en los resultados obtenidos del análisis de tres indicadores clave del comportamiento vial: niveles de servicio (LOS), tiempos de retardo por congestión y capacidad de saturación del flujo vehicular, evaluados en dos intersecciones estratégicas mediante modelación en el software Synchro, bajo los lineamientos del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010).

En primer lugar, se observó una mejora en los niveles de servicio, especialmente en la segunda intersección, donde se pasó de un nivel D (congestión moderada) a B (flujo estable), y en la primera intersección se logró una redistribución más eficiente de los niveles individuales sin deteriorar el nivel global. Esto indica una optimización en la calidad del flujo vehicular.

En segundo lugar, se registró una reducción significativa en los tiempos de retardo por congestión, con mejoras que alcanzan hasta el 72.3% en la segunda intersección, y una reducción del 22.2% en la primera, lo que evidencia una mayor eficiencia operativa y menor acumulación de vehículos en espera.

Finalmente, respecto a la capacidad de saturación, se logró pasar de condiciones críticas de sobresaturación ($v/c > 1.0$) a rangos operativos estables ($v/c \approx 0.84$), reflejando una mejora en la gestión y aprovechamiento de la capacidad vial disponible.

En conjunto, estas mejoras en los tres indicadores fundamentales demuestran que la implementación del sistema semafórico modelado en Synchro contribuye de manera significativa a mejorar el flujo vehicular en las intersecciones analizadas, permitiendo una circulación más fluida, estable y predecible en zonas de alto tráfico.

Por tanto, la hipótesis planteada, que sostiene que la implementación de un sistema de semaforización optimizado reduce significativamente el nivel de congestión vehicular en las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles, Huánuco, se confirma plenamente a partir de los resultados obtenidos en la investigación, ya que se evidenció una mejora sustancial en los indicadores de desempeño vial: el nivel de servicio (LOS) pasó de D a B en una de las intersecciones, los tiempos de retardo se redujeron en un 22,2% y 72,3% respectivamente, y la capacidad de saturación bajó de valores superiores a 1 (condición de sobresaturación) a valores cercanos a 0,83, lo que demuestra que la propuesta de semaforización optimizada es una estrategia eficaz y viable para disminuir la congestión vehicular en este punto crítico de la ciudad.

PARA LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1:

HE1: La semaforización mejora significativamente los niveles de servicio (LOS) de la congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.

Para contrastar esta hipótesis, se analizaron dos intersecciones críticas vinculadas al Puente Daniel Alomía Robles mediante modelación en el software Synchro, aplicando los criterios establecidos en el Manual de Capacidad de Carreteras – HCM 2010 para la evaluación de los niveles de servicio (LOS) vehicular.

En la primera intersección, antes de la propuesta de semaforización, se registraron niveles de servicio de tipo D, D, C y A para los distintos sentidos de circulación. Estos valores reflejan una condición general de nivel de servicio C, que, si bien corresponde a una congestión moderada, todavía permite un flujo relativamente estable. Luego de implementar la propuesta semafórica en el modelo, los niveles individuales mejoraron o se mantuvieron, obteniéndose C, D, C y A, lo cual mantiene el nivel global en C, pero con una distribución más balanceada entre los sentidos, lo que reduce los puntos de saturación y genera una circulación más uniforme.

En la segunda intersección analizada, la situación inicial era más crítica, presentando niveles de servicio de F, A, A y A, lo cual se traduce en un nivel global D, indicativo de una congestión moderada con riesgo de inestabilidad en el flujo, especialmente en el sentido clasificado con nivel F. Luego de la propuesta semafórica, se obtuvieron valores de C, A, B y A, lo que mejora el nivel global a B, una condición que representa un flujo estable y con buena capacidad de respuesta frente a incrementos moderados de demanda. Además, se evidencia una distribución más homogénea de los niveles entre los movimientos, lo cual implica una mejora sustancial en la eficiencia de la intersección.

Estos resultados muestran que, aunque el nivel global en la primera intersección no cambia, sí mejora la calidad interna de circulación al distribuir mejor los tiempos y fases semafóricas. En el caso de la segunda intersección, se logra una mejora cualitativa y cuantitativa significativa, reduciendo la severidad de la congestión y optimizando el rendimiento general.

Por tanto, en base a la evidencia modelada, se confirma la hipótesis específica HE1, ya que la implementación de un sistema de semaforización mediante Synchro efectivamente mejora los niveles de servicio de la congestión vehicular, tanto por redistribución eficiente en condiciones moderadas, como por reducción de puntos críticos en condiciones cercanas a la saturación.

PARA LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2:

HE2: La semaforización reduce significativamente el tiempo de retardo por congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.

La contrastación de esta hipótesis se realizó a partir de los valores de tiempo de retardo promedio por congestión vehicular obtenidos en el modelado previo y posterior a la implementación de la propuesta de semaforización en dos intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles, usando el software Synchro y considerando los parámetros establecidos en el Highway Capacity Manual (HCM 2010).

En la primera intersección, antes de la propuesta de semaforización, se registró un tiempo promedio de retraso de 31.1 segundos por vehículo, lo que representa una condición de congestión moderada, con demoras perceptibles en los horarios de mayor demanda. Luego de aplicar la propuesta de optimización semafórica, el tiempo de retardo se redujo a 24.2 segundos, representando una mejora de 6.9 segundos (aproximadamente 22.2% de reducción). Esta disminución refleja una mayor eficiencia en la asignación de fases y tiempos semafóricos, lo cual permite una evacuación más fluida de los vehículos en los diferentes sentidos.

En la segunda intersección, donde las condiciones iniciales eran más críticas, se obtuvo un tiempo de retardo promedio de 47.3 segundos, valor que evidencia un nivel de congestión elevado y una circulación cercana al colapso en momentos de alta demanda. Tras la implementación de la propuesta semafórica, este valor se redujo drásticamente a 13.1 segundos, logrando una mejora de 34.2 segundos (equivalente a una reducción del 72.3%). Este resultado demuestra la alta efectividad del sistema semafórico propuesto, no solo en la mejora de los flujos, sino también en la minimización de tiempos de espera y acumulación de vehículos.

En ambos casos, la reducción significativa en los tiempos de retardo valida la eficacia de la propuesta de semaforización, tanto en intersecciones con congestión moderada como en aquellas con saturación crítica. La estrategia de coordinación semafórica, apoyada en un análisis técnico mediante Synchro, contribuye así a optimizar el desempeño del sistema vial urbano.

Por consiguiente, los resultados obtenidos permiten confirmar la hipótesis específica HE2, ya que se evidencia de manera cuantitativa que la semaforización mediante Synchro reduce significativamente los tiempos de retardo por congestión vehicular en las intersecciones evaluadas del Puente Daniel Alomía Robles.

PARA LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3:

HE3: La semaforización reduce significativamente la capacidad de saturación del flujo vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.

La hipótesis fue evaluada mediante el análisis de la relación volumen/capacidad (v/c), conocida como capacidad de saturación, en dos intersecciones clave del Puente Daniel Alomía Robles, empleando el software Synchro y siguiendo los lineamientos del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010). Esta relación es un indicador crítico del desempeño operativo de una intersección, donde valores superiores a 1.00 reflejan sobresaturación (flujo vehicular mayor a la capacidad disponible), mientras que valores cercanos a 0.80 o inferiores indican condiciones estables de operación.

En la primera intersección, la capacidad de saturación inicial fue de 0.86, lo cual representa una condición de operación cercana al límite de estabilidad, con riesgo de colas y demoras en momentos de mayor demanda. Tras la implementación de la propuesta de semaforización, este valor se redujo a 0.83, lo que, si bien no representa un incremento numérico, sí evidencia una mejora operativa al reducir el nivel de saturación, permitiendo que el flujo se mantenga más estable y con menor presión sobre la infraestructura vial.

En la segunda intersección, el análisis previo arrojó un valor de 1.15, lo que indica una condición de sobresaturación severa, donde el volumen vehicular supera la capacidad de la intersección, generando congestión crítica y colapso en ciertas fases. Luego de la propuesta de semaforización, la capacidad de saturación descendió a 0.84, valor que se ubica dentro de un rango de operación eficiente, eliminando el estado de sobresaturación y permitiendo una gestión más controlada del flujo vehicular.

Aunque los valores absolutos disminuyen (es decir, la relación v/c se reduce), esto representa una mejora en la capacidad de la intersección para manejar los volúmenes de tráfico sin alcanzar niveles críticos de congestión. Dicho de otra forma, la implementación del sistema semafórico optimizado con

Synchro aumenta la eficiencia del uso de la capacidad disponible, reduciendo la probabilidad de saturación, bloqueos y tiempos muertos en la operación semafórica.

Por lo tanto, los resultados obtenidos permiten confirmar la hipótesis específica HE3, ya que, si bien los valores numéricos de la relación v/c se reducen, esto refleja una mejora sustancial en el control de saturación y en la operatividad de las intersecciones, lo cual implica un incremento efectivo en la capacidad útil de las mismas bajo condiciones controladas y optimizadas por semaforización.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Pinto y Cruz (2024) en el estudio titulado “Propuesta de solución técnica a la congestión vehicular presentada en la carrera 6 entre calle 3 sur y calle 10 sur en el municipio de Cajicá, mediante modelación y microsimulación con software multimodal del tránsito” en la Universidad La Gran Colombia tiene como objetivo principal ofrecer una solución técnica para la congestión vehicular en la carrera 6, entre las calles 3 sur y 10 sur del municipio de Cajicá, utilizando herramientas de modelación y microsimulación con software multimodal de tránsito. La metodología empleada consistió en un enfoque de simulación multimodal, que incluyó la creación de un modelo virtual detallado de la zona, la microsimulación del comportamiento de cada vehículo y el análisis de diferentes escenarios de intervención, como ajustes en los tiempos de los semáforos y la implementación de carriles exclusivos. Los resultados permitieron identificar los principales cuellos de botella y las causas de la congestión, evaluando la efectividad de las alternativas propuestas, como la optimización de la señalización y la sincronización de los semáforos. En conclusión, los autores destacaron que la simulación multimodal es una herramienta valiosa para el análisis de problemas de congestión vehicular, identificando las principales causas en la carrera 6 y sugiriendo medidas para mejorar la movilidad en la zona.

En contraste con mi investigación, se encontró que el análisis de los niveles de servicio (LOS) antes y después de la semaforización mediante Synchro evidenció una mejora operativa, especialmente en la segunda intersección, donde se pasó de un nivel D (condición moderadamente congestionada) a un nivel B (flujo estable), de acuerdo con el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010). En la primera intersección se mantuvo un nivel global tipo C, aunque con una distribución más balanceada entre los

sentidos viales, reduciendo puntos de sobrecarga y mejorando la fluidez interna.

Mendoza Gonzales (2023) en su investigación titulada “La gestión de tránsito urbano para reducir la congestión vehicular en la ciudad de Chiclayo”. De la Universidad César Vallejo, tuvo como objetivo proponer un plan de gestión del tránsito urbano para reducir la congestión vehicular en la ciudad de Chiclayo. Para lograrlo, se empleó una metodología cuantitativa, con un enfoque de estudio básico basado en la teoría fundamentada. La investigación se clasificó como pre experimental descriptiva con propuesta, y se utilizó la estadística como herramienta para procesar y analizar los datos obtenidos. Los instrumentos fueron validados a través del criterio de expertos. Los resultados se obtuvieron mediante encuestas realizadas a 100 peatones y conductores de Chiclayo. La encuesta abordó la variable congestión vehicular en relación con las dimensiones de eficiencia, eficacia, factor humano y ambiental. Los datos mostraron que el 51% de los encuestados se ubicó en el nivel alto de congestión, mientras que el 49% se situó en el nivel medio. Estos hallazgos indicaron la existencia de un problema significativo en las principales vías de Chiclayo. La investigación concluyó que había un problema de congestión vehicular en las principales vías de Chiclayo. Como aporte, se propuso una mejora en la infraestructura vial y la implementación de un sistema semafórico en el óvalo Belaunde, con el objetivo de generar un tránsito más seguro y eficiente para los usuarios de la ciudad.

Contrastando con mi investigación, se encontró que los resultados obtenidos muestran una reducción significativa en los tiempos de retardo por congestión vehicular tras la implementación del sistema de semaforización. En la primera intersección, el tiempo promedio de espera descendió de 31.1 segundos a 24.2 segundos, mientras que, en la segunda intersección, se logró una mejora aún más notable, pasando de 47.3 a 13.1 segundos, lo que representa una disminución del 72.3 %. Estas mejoras reflejan un tránsito más fluido y menor acumulación vehicular.

Jara Rojas (2024) en su estudio titulado “Análisis de la congestión vehicular en la Avenida Universitaria Cayhuayna-Pillcomarca y simulación del

funcionamiento de las vías alternas para optimizar el nivel de servicio-2022". Universidad de Huánuco. Tuvo como objetivo principal identificar y analizar los factores que provocan la congestión vehicular en la Avenida Universitaria, particularmente en el tramo entre Cayhuayna y Pillcomarca. Basándose en este análisis, se buscó proponer y evaluar alternativas de rutas para mejorar el flujo vehicular y optimizar el nivel de servicio en esta vía. Para llevar a cabo el estudio, se empleó una metodología que incluyó la recolección de datos mediante técnicas de recuento de vehículos para obtener información sobre el volumen de tráfico, la velocidad y otros parámetros relevantes. Luego, los datos fueron analizados para identificar los puntos críticos de congestión, los horarios pico y los factores que afectan el flujo vehicular. Posteriormente, se utilizaron modelos de simulación para evaluar el desempeño de distintas alternativas de rutas y determinar cuál ofrecía la mejor solución para reducir la congestión. Los resultados revelaron los principales factores de congestión en la Avenida Universitaria, como el alto volumen de tráfico durante las horas pico, la existencia de intersecciones semaforizadas que generan cuellos de botella y la presencia de vehículos estacionados en zonas no permitidas. A partir de estos hallazgos, se propusieron y evaluaron diversas alternativas de rutas, considerando aspectos como la distancia, el tiempo de viaje y la capacidad de las vías. En conclusión, el estudio demostró que la congestión vehicular en el tramo Cayhuayna-Pillcomarca de la Avenida Universitaria es un problema significativo que afecta la movilidad. Los factores que contribuyen a la congestión son variados y están interrelacionados. La implementación de rutas alternativas se presenta como una solución efectiva para reducir la congestión y mejorar el nivel de servicio en la zona, y la simulación de tráfico se mostró como una herramienta valiosa para evaluar las diferentes opciones antes de su implementación.

En comparación con mi estudio, se evidenció que, respecto a la capacidad de saturación, se evidenció una mejora sustancial en ambas intersecciones tras la implementación del sistema de semaforización. En la primera intersección, el valor del índice v/c se redujo de 0.86 a 0.83, lo que representa una mejora operativa dentro de un rango aceptable. En la segunda

intersección, el valor pasó de 1.15 a 0.84, eliminando el estado de sobresaturación y mejorando sustancialmente la eficiencia del flujo.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, concluimos en lo siguiente:

Para el objetivo general: Evaluar cómo la implementación de un sistema de semaforización optimizado influye en la reducción de la congestión vehicular en las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles en Huánuco. Se concluye que la propuesta de un sistema de semaforización optimizado en las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles permite comprobar que una adecuada asignación de tiempos de luz verde, basada en datos reales de demanda vehicular y simulada con herramientas como Synchro, reduce de manera significativa la congestión, mejora los niveles de servicio, disminuye los tiempos de retardo y evita la sobresaturación de carriles, constituyéndose en una solución técnica viable y eficaz para mejorar la movilidad urbana y la seguridad vial en la ciudad de Huánuco.

Para el objetivo específico 1: Determinar cómo impacta la semaforización en los niveles de servicio (LOS) de la congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles. Se concluye que la semaforización generó una mejora en los niveles de servicio (LOS) en ambas intersecciones analizadas; en la primera intersección se mantuvo el nivel global C con una distribución más balanceada entre sentidos, mientras que en la segunda se mejoró de nivel D a nivel B, demostrando una mayor eficiencia en el flujo vehicular y reducción de la congestión vehicular tras la implementación.

Para el objetivo específico 2: Analizar qué variaciones presenta la semaforización en el tiempo de retardo por congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles. Se demostró que la propuesta de semaforización permitió reducir significativamente el tiempo de retardo por congestión vehicular, pasando de 31.1 a 24.2 segundos en la primera intersección y de 47.3 a 13.1 segundos en la segunda, lo que indica una mejora en la fluidez del tránsito y una reducción efectiva del tiempo de espera de los vehículos.

Para el objetivo específico 3: Determinar cómo la propuesta de semaforización impacta en la capacidad de saturación por congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles. Se concluye que la propuesta de semaforización permitió reducir significativamente la capacidad de saturación del flujo vehicular, logrando una mejora sustancial al reducir el índice v/c de 0.86 a 0.83 en la primera intersección y de 1.15 a 0.84 en la segunda, lo que eliminó el estado de sobresaturación y permitió alcanzar una condición operativa más eficiente.

La presente investigación contiene aportes a la ingeniería que son:

Primer aporte: Este estudio entrega evidencia cuantitativa y contextualizada en una ciudad intermedia andino-amazónica de la eficacia de la semaforización optimizada con Synchro para mejorar el desempeño operacional de intersecciones urbanas. La investigación documenta, con base en criterios HCM, una mejora del nivel de servicio (de un nivel global D a B en las intersecciones), reducciones sustanciales del retardo promedio ($\approx 22,2\%$ y $\approx 72,3\%$ en las intersecciones analizadas) y la normalización del grado de saturación (por ejemplo, de 1,15 a 0,84), aportando magnitudes de efecto transferibles a contextos similares y validando el uso de micro-simulación como soporte de decisiones públicas en movilidad. Este cuerpo de resultados robustece la literatura latinoamericana al ofrecer métricas reproducibles en un corredor real, más allá de escenarios teóricos o de gran metrópoli.

Segundo aporte: Metodológicamente, el trabajo propone un protocolo replicable que integra: (i) levantamiento sistemático de volúmenes y conversión a PCU, (ii) modelado y optimización de fases/ciclos semaforicos en Synchro con lineamientos HCM, (iii) diseño explícito de tiempos por fase (ciclos de 60 s con distribución verde-ámbar-rojo por aproximación) y (iv) evaluación multicriterio (LOS, retardo, v/c) complementada con análisis de costos comparativos de implementación. Esta articulación de técnicas cerradas con tablas presupuestales trazables y tiempos de operación programables facilita la transferencia tecnológica a gobiernos locales, mejora la trazabilidad entre diagnóstico, simulación y pre inversión, y abre una vía para estudios costo-efectividad en semaforización de ciudades intermedias.

RECOMENDACIONES

- Incorporar análisis con simulación dinámica en tiempo real utilizando softwares complementarios como VISSIM o AIMSUN, que permiten modelar de forma más detallada las interacciones entre vehículos, peatones y el entorno urbano, lo cual enriquecería el análisis de eficiencia de la semaforización.
- Evaluar el impacto ambiental de la semaforización, midiendo indicadores como la reducción de emisiones de CO₂, NOx y consumo de combustible producto de la disminución de tiempos de espera y detenciones frecuentes.
- Analizar la percepción de los usuarios y conductores sobre los cambios introducidos por la semaforización, a través de encuestas o entrevistas, para entender cómo se adapta la población al nuevo sistema y qué mejoras pueden incorporarse desde un enfoque social y conductual.
- Ampliar el estudio hacia escenarios con transporte público y no motorizado, considerando la prioridad de buses o ciclovías, para evaluar cómo la semaforización puede integrarse a sistemas de movilidad sostenible.
- Estudiar la implementación de semáforos inteligentes o adaptativos que respondan en tiempo real a variaciones del flujo vehicular mediante sensores o cámaras, y compararlos con los semáforos programados fijos, como los usados en tu investigación.
- Aplicar metodologías de análisis multicriterio (AMC) para considerar no solo indicadores de tráfico, sino también variables económicas, ambientales y de seguridad vial, a fin de tomar decisiones más integrales para el diseño de intersecciones.
- Realizar estudios comparativos entre diferentes ciudades con condiciones similares, para evaluar la transferencia y adaptabilidad de la propuesta de semaforización en distintos contextos urbanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga Rodríguez, J. M. (2021). Estudio Comparativo entre la velocidad y la densidad en modelos macroscópicos del tráfico vehicular incorporando la variable espacial en la velocidad matemática. Obtenido de <https://doi.org/10.15517/rmta.v28i1.41890>
- Bravo Hernández, A., Ramírez Amaya, M., & Serrato Cortes, A. (2021). Modelación de tránsito para la semaforización de la intersección vial. Avenida carrera 23 con calle 15, en el municipio de Acacias – Meta. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Canta Arredondo, J., & Ordoñez Cahuantico, J. (2023). Dispositivos de control de tránsito para reducir la congestión vehicular en intersecciones. Universidad Ricardo Palma.
- Cárdenas Grisales, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras*. Ecoe Ediciones.
- Carreño Dueñas, D. A. (2012). *Análisis Del Tráfico Vehicular Mediante Dinámica de Sistemas*. Editorial Académica Española.
- Chiasserini, C. F., Gribaudo, M., & Manini, D. (2020). *Modelado analítico de sistemas de comunicación inalámbrica*. ISTE Editions Limited.
- Contreras Mojica, A. Y., & Peñaranda Rodriguez, N. J. (2011). *Control Supervisorio de Flujo Vehicular*. Editorial Académica Española.
- Dykinson. (2022). *Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial*. Editorial Dykinson, S.L.
- Esteban Nieto, N. T. (2018). *Tipos de investigación*. Universidad Santo Domingo de Guzmán. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>
- Falocchio, J. C., & Levinson, H. S. (2015). *Road Traffic Congestion: A Concise Guide*. Springer International Publishing.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana Editores.
- Jara Rojas, K. (2024). Análisis de la congestión vehicular en la Avenida Universitaria Cayhuayna-Pillcomarca y simulación del funcionamiento

- de las vías alternas para optimizar el nivel de servicio-2022. Universidad de Huanuco.
- León Vallejo, O. (2020). Soluciones de tránsito en alta congestión vehicular de intersecciones urbanas. Una revisión sistemática entre 2010-2020. Universidad Privada del Norte.
- Lerma González, H. D. (2022). *Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto*. Ecoe Ediciones.
- Martinez, G. J., Zenil, H., & Stephens, C. S. (Edits.). (2011). *Sistemas Complejos Como Modelos de Computación*. Luniver Press.
- Mendoza Gonzales, L. (2023). La gestión de tránsito urbano para reducir la congestión vehicular en la ciudad de Chiclayo. Universidad Cesar Vallejo.
- Motta, M. V. (2002). *Tránsito y transporte público urbano en Brasil*. Inter-American Development Bank.
- Oropeza Sandoval, D., & Leyva Picaza, V. (30 de Octubre de 2022). El crecimiento urbano y sus consecuencias en la movilidad. Caso de estudio: Zona Conurbada de Querétaro. Mexico: Universidad de Querétaro.
- Pinto Silva, M., & Cruz Camargo, C. (2024). Propuesta de solución técnica a la congestión vehicular presentada en la carrera 6 entre calle 3 sur y calle 10 sur en el municipio de Cajicá, mediante modelación y microsimulación con software multimodal del tránsito. Universidad La Gran Colombia.
- Plata García, F. J., & Ramírez Monroy, C. (2018). Análisis, modelado y simulación de tráfico vehicular mediante sistemas multiagente. Universidad Autónoma del Estado de México. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/98866>
- Prudencio, I., & Flores Calle, R. (2011). *Diseño de Un Controlador de Tráfico Vehicular Y Peatonal*. Editorial Académica Española.
- Rebollo, P. A., & Ábalos, E. M. (2022). *Metodología de la Investigación/Recopilación*. Editorial Autores de Argentina.
- Sañay Sanaicela, F. A. (2023). MAPEO SISTEMÁTICO SOBRE SOLUCIONES AL TRÁFICO VEHICULAR EN CIUDADES INTELIGENTES. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.

- Schifter, I., & López Salinas, E. (2013). *Usos y abusos de las gasolinas*. FCE - Fondo de Cultura Económica.
- Transportation Research Board. (2010). *Highway Capacity Manual 2010*. National Research Council.
- Vargas Vargas, W. E. (2022). *Diseño geométrico de intersecciones viales con Civil 3D*. Ecoe Ediciones.
- Yasig Villamar, K. (2024). *Evaluación de la intersección de la avenida Joffre Lima y José Coronel mediante programas informáticos para determinar la congestión vehicular y accidentes de tránsito*. Tesis.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Bernabe Beteta, M. S. (2026). *Optimización de la semaforización para la reducción de la congestión vehicular en las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles, Huánuco – 2025*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. url: <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE TESIS



UDH

Facultad de
Ingeniería

RESOLUCIÓN n.º 1412-2025-D-FI-UDH Huánuco, 8 de julio de 2025

Visto:

El Oficio n.º 0850-2025-CA-PAIC-FI-UDH, presentado por el Coordinador Académico del Programa de Ingeniería Civil que contiene el dictamen aprobatorio de los Jurados revisores sobre el Plan de Tesis titulado: “OPTIMIZACIÓN DE LA SEMAFORIZACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN LAS INTERSECCIONES DEL PUENTE DANIEL ALOMÍA ROBLES, HUÁNUCO - 2025”, presentado por Marcia Sheyla BERNABE BETETA en calidad de tesista.

CONSIDERANDO:

- Que, mediante Resolución n.º 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se creó la Facultad de Ingeniería;
- Que, mediante Resolución de Consejo Directivo n.º 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, la Universidad de Huánuco obtuvo la licencia para ofrecer el servicio educativo superior universitario;
- Que, mediante Resolución n.º 1137-2025-D-FI-UDH, de fecha 10 de junio de 2025, se designó a Mg. Lili Tatiana BOYANOVICH ORDOÑEZ, docente adscrito al Ingeniería Civil, como Asesor de tesis de Marcia Sheyla BERNABE BETETA;
- Que, según el Oficio n.º 0101-2025-CA-PAIC-FI-UDH, el Coordinador Académico informa que los Jurados revisores, conformados por: Mg. Ingrid Delia Dignarda ARTEAGA ESPINOZA (Presidente), Mg. Yenerit Pamela MALPARTIDA VALDERRAMA (Secretario), Mg. Alberto Carlos JARA TRUJILLO (Vocal), han declarado APROBADO el Plan de Tesis para su ejecución;
- Que, en virtud de las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a informar en la próxima sesión del Consejo de Facultad;

SE RESUELVE:

Artículo 1º. Aprobar el Plan de Tesis titulado: “OPTIMIZACIÓN DE LA SEMAFORIZACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN LAS INTERSECCIONES DEL PUENTE DANIEL ALOMÍA ROBLES, HUÁNUCO - 2025”, presentado por Marcia Sheyla BERNABE BETETA, como requisito para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil en la Universidad de Huánuco.

Artículo 2º. Establecer un plazo máximo de 12 meses para la ejecución del Plan de Tesis, contado a partir de la fecha de emisión de la presente Resolución. En caso de incumplimiento, el interesado podrá solicitar una única ampliación de hasta seis meses.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Mg. Maximiliano Cruz Huacachino
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Ethel Jheroni Manzano Lozano
SECRETARIO DOCENTE



Documento:

RESOLUCIÓN n.º 1412-2025-D-FI-UDH

URL de Verificación:

<https://copiloto.udh.edu.pe/titulacionback/api/resolucion/var-aprobacion-tesis/686718fd7136d4cdf4035e62>

ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE DESIGNACIÓN DE ASESOR



UDH

Facultad de
Ingeniería

RESOLUCIÓN n.º 1137-2025-D-FI-UDH
Huánuco, 10 de junio de 2025

Visto:

El Oficio n.º 0670-2025-CA-PAIC-FI-UDH, presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el expediente n.º 546576-0000003010 mediante el cual Marcia Sheyla BERNABE BETETA solicita la designación de un Asesor de tesis.

CONSIDERANDO:

- Que, conforme a lo dispuesto en la Ley Universitaria n.º 30220, Capítulo V, Artículo 45, inciso 45.2, corresponde atender dicha solicitud;
- Que, según el expediente n.º 546576-0000003010, Marcia Sheyla BERNABE BETETA propone a Mg. Lili Tatiana BOYANOVICH ORDOÑEZ como asesor de tesis para el desarrollo de su trabajo de investigación;
- Que, de acuerdo con los Artículos 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, la solicitud cumple con los requisitos establecidos;
- Que, en virtud de las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería, y con cargo a informar en la próxima sesión del Consejo de Facultad;

SE RESUELVE:

Artículo 1º. Designar a Mg. Lili Tatiana BOYANOVICH ORDOÑEZ, docente del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, como Asesor de tesis de Marcia Sheyla BERNABE BETETA.

Artículo 2º. Establecer un plazo máximo de seis meses para presentar la solicitud de revisión del Plan de Tesis. En caso de vencimiento del plazo, el interesado deberá gestionar una nueva solicitud conforme a los costos vigentes.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Mg. Maximiliano Cruz Hincachino
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Ethel Johana Manzano Lozano
SECRETARIO DOCENTE



Documento:

RESOLUCIÓN n.º 1137-2025-D-FI-UDH

URL de Verificación:

<https://copiloto.udh.edu.pe/titulacionback/api/view-resolution/684286584b57dd37270af3b2>

ANEXO 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN DE LA SEMAFORIZACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN LAS INTERSECCIONES DEL PUENTE DANIEL ALOMIA ROBLES, HUÁNUCO - 2025”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
Problema general PG: ¿De qué manera la optimización de un sistema de semaforización influye en la reducción de la congestión vehicular en las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles, Huánuco?	Objetivo general OG: Evaluar cómo la implementación de un sistema de semaforización optimizado influye en la reducción de la congestión vehicular entre las intersecciones del puente Daniel Alomía Robles en Huánuco.	Hipótesis general HG: La implementación de un sistema de semaforización optimizado reduce significativamente el nivel de congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles. Hipótesis específica HE1: La semaforización mejora significativamente los niveles de servicio (LOS) de la congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles. HE2: La semaforización reduce significativamente el tiempo de retardo por congestión vehicular entre las	Enfoque: Enfoque cuantitativo. Alcance o nivel: Alcance explicativo. Diseño: Diseño pre experimental. Técnica de investigación: Observación directa Instrumentos: Fichas de caracterización de vías y ficha para el registro de tráfico. Población: La población de la investigación está conformada por todas las intersecciones urbanas con alto
Problema específico PE1: ¿Cómo impacta la semaforización en los niveles de servicio (LOS) de la congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles? PE2: ¿Qué variaciones presenta la semaforización en el tiempo de	Objetivos específicos OE1: Determinar cómo impacta la semaforización en los niveles de servicio (LOS) de la congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles. OE2: Analizar qué variaciones presenta la semaforización en el		

retardo por congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles?	tiempo de retardo por congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.	intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.	nivel de congestión vehicular en la ciudad de Huánuco, especialmente aquellas ubicadas en zonas de conexión estratégica del centro urbano.
PE3: ¿Cómo la propuesta de semaforización impacta en la capacidad de saturación por congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles?	OE3: Determinar cómo la propuesta de semaforización impacta en la capacidad de saturación por congestión vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.	HE3: La semaforización reduce significativamente la capacidad de saturación del flujo vehicular entre las intersecciones del Puente Daniel Alomía Robles.	Muestra: La muestra estuvo conformada por una intersección vial urbana crítica seleccionado de manera no probabilística e intencional, debido a su alto flujo vehicular y nivel de congestión. Esta fue la intersección del Puente Daniel Alomía Robles, ubicada en la ciudad de Huánuco.
		Variables: Variable Independiente VI: Optimización de la semaforización en intersecciones. Variable Dependiente VD: Nivel de congestión vehicular y desempeño del flujo vehicular.	

ANEXO 4

FICHA DE RECOJO DE DATOS

VOLUMEN DE TRAFICO DIARIO

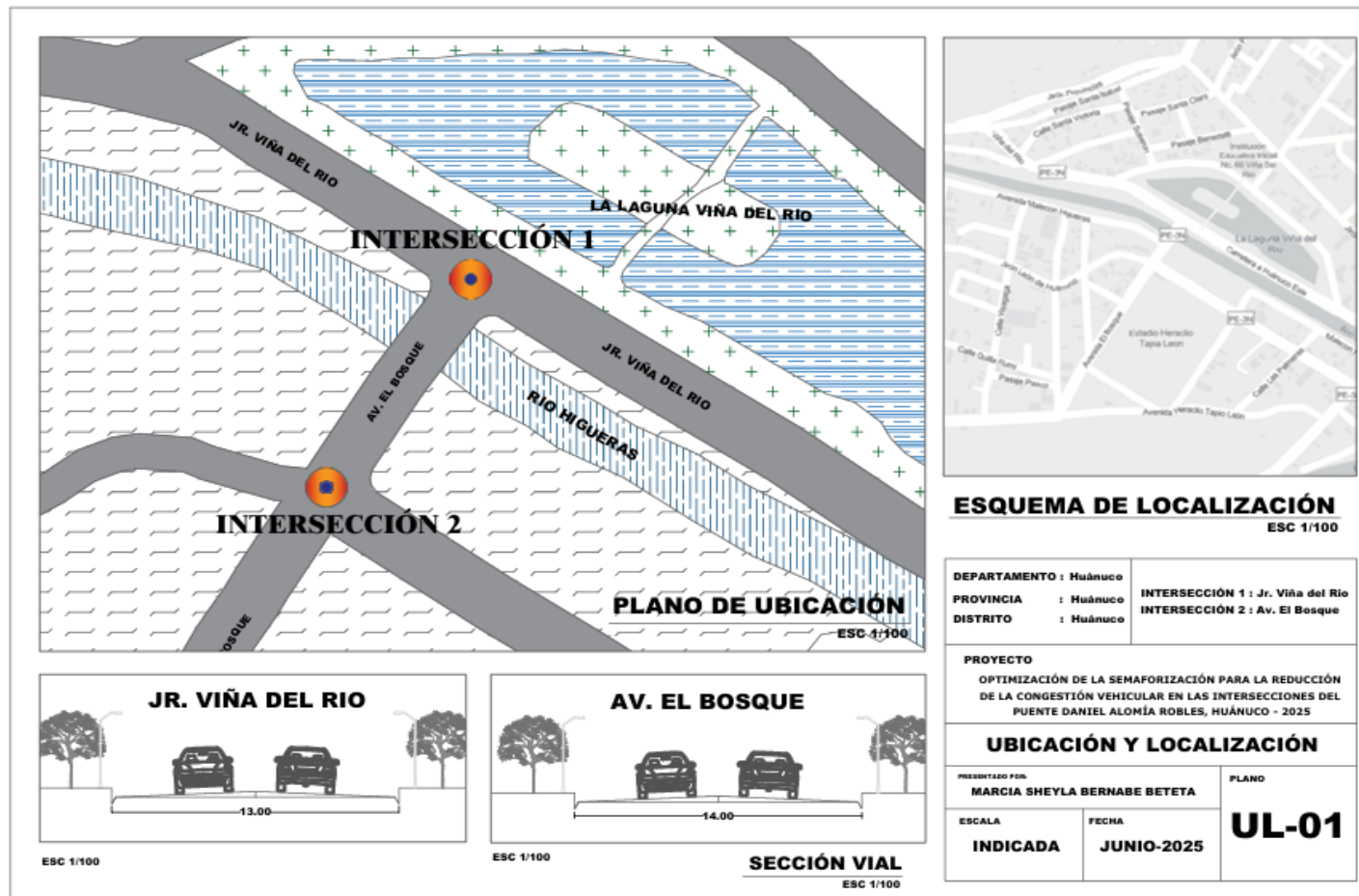
INTERSECCION	
SENTIDO	
UBICACIÓN	

ESTACION	
DIA	
FECHA	

HORA	MOTOTAXI	MOTO	AUTOMOVIL	STACION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	PORC. %
					PICKUP	PANEL	RURAL		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2	2S3	3S1/3	>= 3S	2T2	2T3	3T2	3T3		
																							
6-7																							0,00
7-8																							0,00
8-9																							0,00
9-10																							0,00
10-11																							0,00
11-12																							0,00
12-																							0,00

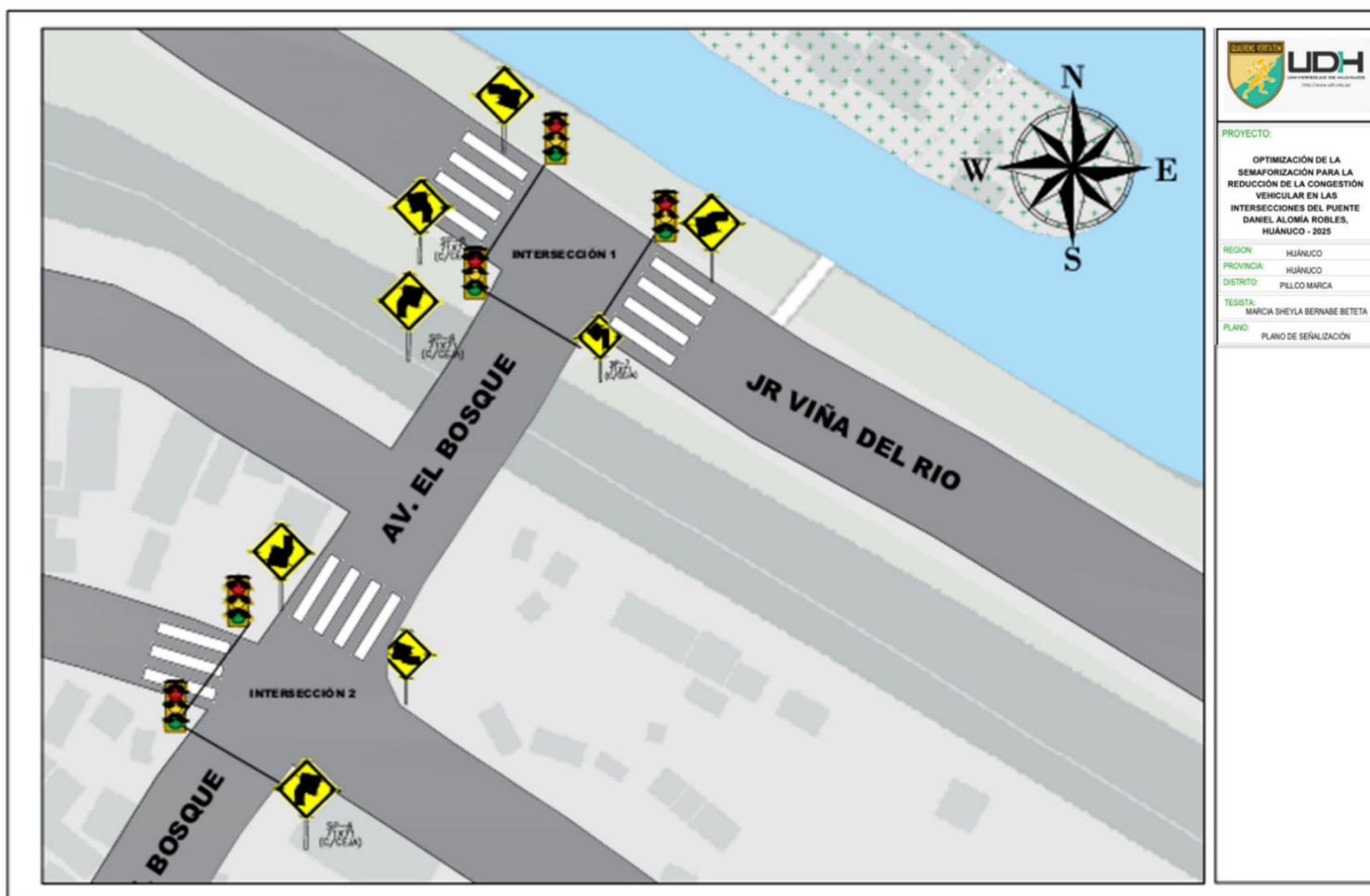
ANEXO 5

PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO



ANEXO 6

PLANO DE SEÑALIZACIÓN



ANEXO 7

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1

Vista aérea de la zona de trabajo



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 2

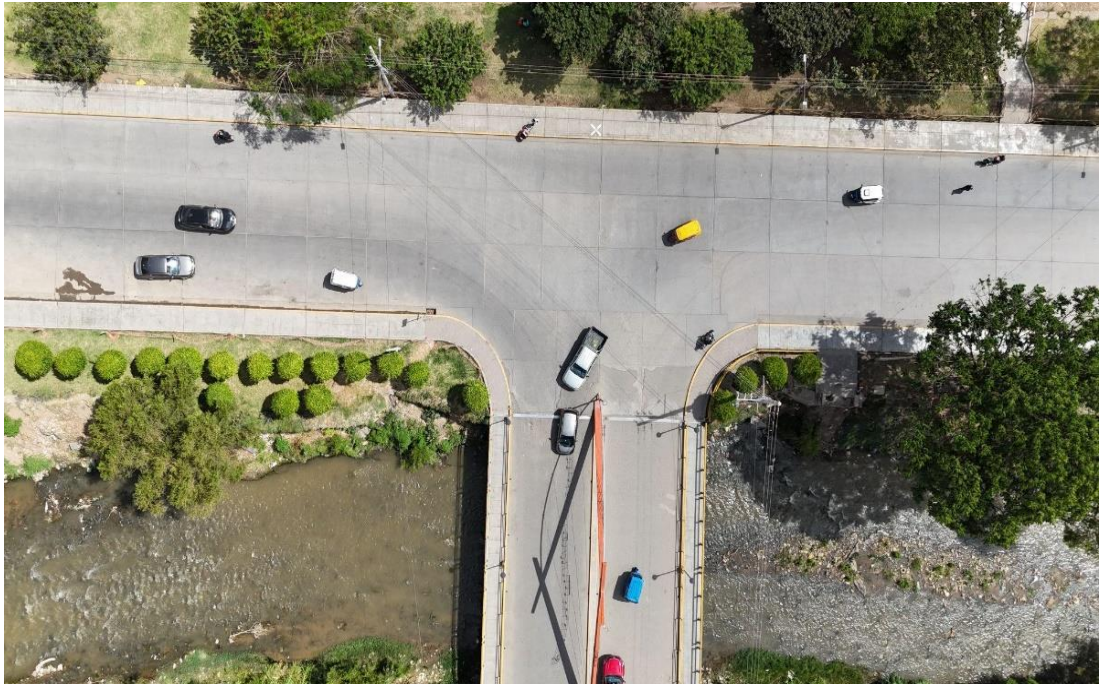
Puente Daniel Alomía Robles



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 3

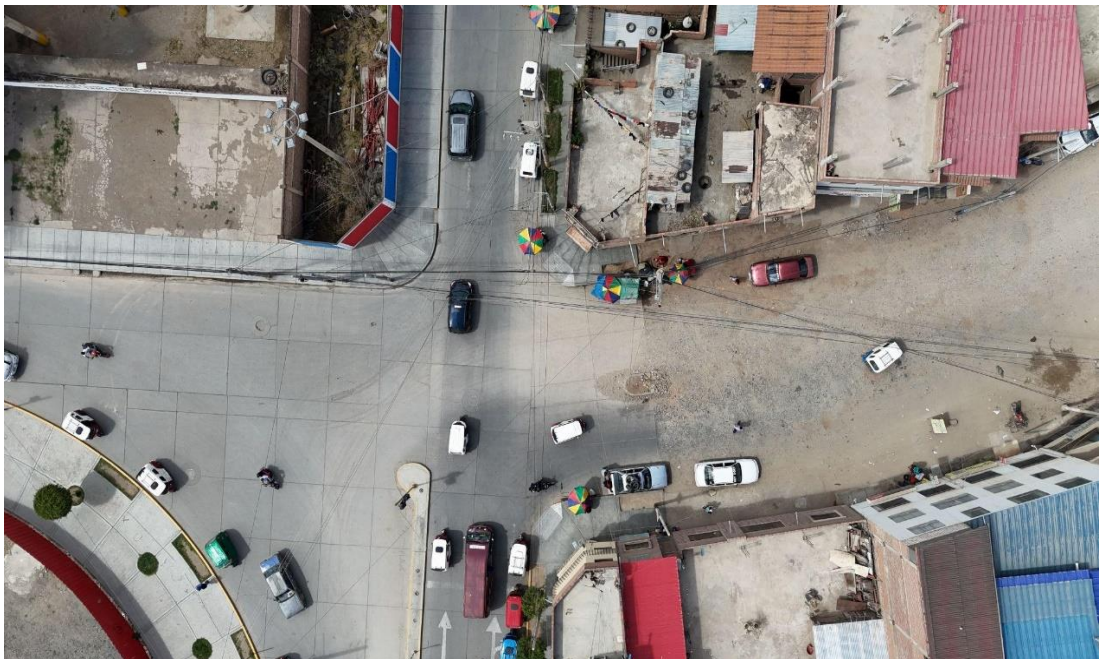
1ra intersección del área de trabajo



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 4

2da intersección del área de trabajo



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 5

Conteo manual para 1 sentido de circulación



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 6

Conteo manual para 2 sentidos distintos de circulación



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 7

Conteo manual para 2 sentidos distintos de circulación



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 8

Conteo manual para 1 sentido de circulación



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 9

Conteo manual para 2 sentidos distintos de circulación



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 10

Conteo manual para 1 sentido de circulación



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 11

Conteo manual para 1 sentido de circulación



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 12

Conteo de vehículos para el 2 sentido con distintas circulaciones



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 13

Otra vista de recojo de datos para el 1 sentido de circulación



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 14

Conteo de vehículos para el 2 sentido de circulación



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 15

Conteo vehicular en 1 sentido de circulación en horas punta de la noche



Fuente: Vuelo de dron

Fotografía 16

Conteo manual para 1 sentido de circulación



Fuente: Vuelo de dron