

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
TRANSPORTES



**PROPUESTA DE INTERCAMBIO VIAL PARA OPTIMIZAR EL
SISTEMA VIAL URBANO EN EL CRUCE DE AVENIDAS PIZARRO-
GUARDIA CIVIL, DISTRITO DE PAUCARPATA, AREQUIPA 2025**

TESIS

Presentada por:

Bach. Isaí Isaac Vega Vega
ORCID: 0000-0003-0058-7991

Asesor:

Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez
ORCID: 0000-0002-6766-7665

Para obtener el grado académico de:
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
TRANSPORTES

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
TRANSPORTES



**PROPUESTA DE INTERCAMBIO VIAL PARA OPTIMIZAR EL
SISTEMA VIAL URBANO EN EL CRUCE DE AVENIDAS PIZARRO-
GUARDIA CIVIL, DISTRITO DE PAUCARPATA, AREQUIPA 2025**

TESIS

Presentada por:

Bach. Isaí Isaac Vega Vega
ORCID: 0000-0003-0058-7991

Asesor:

Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez
ORCID: 0000-0002-6766-7665

Para obtener el grado académico de:
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
TRANSPORTES

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
TRANSPORTES

Tesis

**“PROPUESTA DE INTERCAMBIO VIAL PARA OPTIMIZAR EL
SISTEMA VIAL URBANO EN EL CRUCE DE AVENIDAS PIZARRO-
GUARDIA CIVIL, DISTRITO DE PAUCARPATA, AREQUIPA 2025”**

Presentada por:

Bach. Isaí Isaac Vega Vega

**Tesis sustentada y aprobada el 04 de agosto de 2026; ante el siguiente jurado
examinador:**

PRESIDENTE: Dr. Aníbal Juan Espinoza Aranciaga

SECRETARIO: Mag. Rolando Gonzalo Salazar Calderón Juárez

VOCAL: Dr. Pedro Valerio Maquera Cruz

ASESOR: Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Isaí Isaac Vega Vega, en calidad de Maestrando de la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Transportes, de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 74319508.

Soy autor de la tesis titulada:

Propuesta de intercambio vial para optimizar el sistema vial urbano en el cruce de avenidas Pizarro - Guardia Civil, distrito de Paucarpata, Arequipa 2025, con asesor: Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez.

DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de maestro, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual. Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 08% de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor (a) de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y

a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y fecha: Tacna, 04 agosto de 2026



Nombres y apellidos : Isaí Isaac Vega Vega
DNI : 74319508

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación, fruto de esfuerzo, constancia y dedicación, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta importante etapa de mi vida profesional.

Dedico a mi madre, Constantina Vega Prieto, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y valores, que han sido el pilar fundamental en mi formación personal y académica.

Dedico a mi esposa, Flor Laime Yana, por su amor, paciencia y apoyo incondicional, por comprender las largas horas de estudio, por alentarme en los momentos difíciles y por celebrar cada pequeño avance conmigo. Su confianza en mis capacidades me impulsó a seguir adelante aun cuando el camino parecía complejo. Este logro también es suyo, porque sin su constante respaldo, dedicación y motivación, no hubiera sido posible alcanzar esta meta.

Dedico a mi hijo, Enzo Jared Vega, quien ha sido mi mayor fuente de inspiración y motivación para seguir adelante en este camino académico. Tu presencia en mi vida me impulsa cada día a ser mejor, a esforzarme y a no rendirme frente a las dificultades. Aunque muchas veces el tiempo compartido se vio reducido por las exigencias de este proceso, tu cariño, alegría y comprensión han sido un motor constante para alcanzar esta meta. Este logro también es para ti, como ejemplo de perseverancia y dedicación, con la esperanza de que siempre luches por tus sueños. Con todo mi amor.

Finalmente, dedico este trabajo a la sociedad, con la esperanza de que esta investigación contribuya al desarrollo de soluciones que mejoren la movilidad urbana y la calidad de vida de la población.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profundo agradecimiento, en primer lugar, a Dios, por haberme otorgado la vida, la fortaleza y la claridad necesarias para culminar satisfactoriamente el presente trabajo de investigación.

De manera especial, manifiesto mi reconocimiento a la plana docente de la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Transportes y la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, por su valiosa orientación académica y rigurosidad científica, las cuales han contribuido significativamente a la consolidación de los fundamentos teóricos y metodológicos de la presente investigación.

Asimismo, expreso mi agradecimiento al asesor de tesis, el Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez, por su acompañamiento permanente, sus observaciones críticas y su dirección técnica, que han permitido encauzar el desarrollo del estudio conforme a los estándares exigidos en la investigación de posgrado.

Finalmente, agradezco a mi familia por su apoyo constante y comprensión durante el proceso investigativo, constituyéndose en un soporte fundamental para la culminación de este esfuerzo académico, el cual se orienta a aportar al desarrollo de propuestas que coadyuven a la mejora del sistema vial urbano, en estricto respeto de los principios de legalidad, eficiencia y sostenibilidad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	I
PÁGINA DE RESPETO	II
CARÁTULA INTERIOR.....	III
PÁGINA DEL JURADO	IV
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	V
DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTOS	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE APÉNDICE	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.2.1 Problema principal	5
1.2.2 Problemas secundarios	5
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.4 OBJETIVOS	8
1.4.1 Objetivo general	8
1.4.2 Objetivos específicos.....	8
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....	9
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	9
2.2 NORMATIVA VIGENTE	14

2.3	DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS	16
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL PROYECTO		20
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA	20
3.1.1	Tipo de investigación	20
3.1.2	Nivel de investigación	20
3.1.3	Justificación del enfoque aplicado	21
3.2	DISEÑO DEL PROYECTO	21
3.2.1	Etapas del proyecto	21
3.2.2	Herramientas y/o paquetes informáticos utilizados	28
3.3	EVALUACIÓN TÉCNICA Y FACTIBILIDAD	30
3.3.1	Análisis de los niveles de intervención para el diseño geométrico vial	30
3.3.2	Análisis de la Capacidad del intercambio vial	35
3.3.3	Diseño de elementos de seguridad vial	35
3.4	PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN	39
3.4.1	Cronograma	39
3.4.2	Asignación de recursos	40
3.4.3	Costos y financiamiento	40
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		42
4.1	DESARROLLO DEL PROYECTO Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO ...	42
4.2	ANÁLISIS DE IMPACTO, BENEFICIOS Y COMPARACIÓN CON CASOS SIMILARES	95
4.3	LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y MEJORAS IDENTIFICADAS	98
4.4	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA Y SU IMPLEMENTACIÓN	99
4.5	EVALUACIÓN DE COSTOS, SOSTENIBILIDAD Y VIABILIDAD A LARGO PLAZO	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		107
REFERENCIAS		111
APÉNDICE		116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cronograma de desarrollo de la fase 2, y ejecución de la investigación.	40
Tabla 2 Presupuesto de ejecución de la tesis de posgrado	41
Tabla 3 Coordenadas de la Poligonal Básica (Datum WGS-84)	43
Tabla 4 Código de las estaciones de control.	48
Tabla 5 Tráfico Vehicular Promedio Diario Semanal Estaciones E1 Y E3: Av. Hartley (Km. 0+180 – Km. 0+240).....	53
Tabla 6 Índice Medio Diario Anual (IMDA) Estaciones E1 Y E3: Av. Hartley (Km. 0+180 – Km. 0+240)	54
Tabla 7 Tráfico Vehicular Promedio Diario Semanal Estaciones E2 y E4: Av. Pizarro (Km. 0+140 – Km. 0+200).....	58
Tabla 8 Índice Medio Diario Anual (IMDA) Estaciones E1 Y E3: Av. Hartley (Km. 0+180 – Km. 0+240)	59
Tabla 9 Resumen del Tráfico IMD	62
Tabla 10 Resumen del Índice Medio Diario Anual (IMDA)	63
Tabla 11 Trafico generado por tipo de proyecto	65
Tabla 12 Tiempo de recorrido en los puntos de referencia	69
Tabla 13 Estimación de tiempo con el intercambio vial	81
Tabla 14 Diferencia de tiempo de recorrido del tramo	81
Tabla 15 Mejoras en la av. Hartley	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la zona de estudio	22
Figura 2 Ubicación de la intersección de la zona de estudio	22
Figura 3 Formato de conteo vehicular – Clasificación vehicular	24
Figura 4 Ubicación de la intersección de la zona de estudio	31
Figura 5 Procesamiento de datos, Generación de la superficie.....	32
Figura 6 Procesamiento de datos, Generación de la superficie.....	32
Figura 7 Flujograma de la intersección objeto de estudio	34
Figura 8 Planimetría del área de intervención	44
Figura 9 Perfil longitudinal.....	44
Figura 10 Secciones transversales.....	45
Figura 11 Secciones transversales.....	46
Figura 12 Flujograma del conteo vehicular	48
Figura 13 Resultados del Conteo Vehicular por día estaciones E1 Y E3: Av. Hartley (Km. 0+180 – Km. 0+240).....	52
Figura 14 Composición del Tráfico	55
Figura 15 Variación diaria de vehículos	56
Figura 16 Resultados del Conteo Vehicular por día Estaciones E2 Y E4: Av. Pizarro (Km. 0+140 – Km. 0+200).....	57
Figura 17 Composición del Tráfico	60
Figura 18 Variación diaria de vehículos	61
Figura 19 Tasas para la proyección de la demanda	66
Figura 20 Ejes equivalentes para diseño de pavimento	67
Figura 21 Ubicación de los tramos de medición.....	69
Figura 22 Trazo de propuesta del intercambio vial.....	70
Figura 23 Reporte del tráfico av. Hartley y av. Pizarro	74
Figura 24 Modelado del tráfico vehicular actual – Synchro Traffic12.....	75

Figura 25 Modelado del tráfico vehicular proyectado	77
Figura 26 vista en isométrico del intercambio vial	78
Figura 27 Plano de diseño propuesto como solución.....	79
Figura 28 Modelo en 3D de plano propuesto.....	79
Figura 29 Plano de propuesta insertado en la sección real	80
Figura 30 Señalización horizontal propuesto – tramo avenida Hartley	88
Figura 31 Señalización horizontal propuesta – intersección.....	89
Figura 32 Señalización horizontal – tramo av. Guardia Civil.....	89
Figura 33 Señalización vertical propuesto	90
Figura 34 Datos de la fase de formulación del invierte.pe.....	105

ÍNDICE DE APÉNDICE

Matriz de consistencia.....	117
Instrumentos utilizados	118
Matriz de información recopilada	120
Anexos - Planos.....	121

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo proponer el diseño del intercambio vial para optimizar el sistema vial urbano en el cruce de las avenidas Pizarro, Guardia Civil ubicado en el distrito de Paucarpata, provincia de Arequipa. La problemática se centra en la congestión vehicular crónica, en los altos tiempos de viaje, la baja eficiencia operativa y elevados niveles de siniestralidad vial que generan un efecto negativo en tránsito vial urbano e incrementan los costos del transporte público y privado, además de causar el malestar de la población y un crecimiento económico lento del área de influencia. El estudio se desarrolló con el tipo de investigación aplicada bajo un enfoque cuantitativo de nivel aplicativo y diseño no experimental, empleando técnicas de levantamiento de información en campo, tales como aforos vehiculares, levantamiento topográfico y análisis del nivel de servicio. Asimismo, se utilizaron herramientas de microsimulación como Synchro Traffic y PTV VISSIM para modelar las condiciones actuales y evaluar escenarios de mejora. Los resultados evidencian que implementar el intercambio vial reduce significativamente las demoras vehiculares, mejora el nivel de servicio y optimiza la fluidez del tránsito, de acuerdo a los puntos de referencia colocados se registra una disminución de tiempo; en la av. Harley - av. Guardia Civil (C1-C2) de 270 y segundos y viceversa en 193 segundos. De 190 segundos en la Avenida Pizarro (P1-P2) y viceversa de 215 segundos. Asimismo, la propuesta genera beneficios en seguridad vial y ambiental, consolidando una mejora integral del sistema vial. Se concluyó que la propuesta constituye una solución técnica viable que contribuye a mejorar el tiempo de traslado, en el sentido de la av. Guardia civil una reducción de hasta 43%, y en la av. Pizarro una reducción de hasta un 59%, mostrando mejoras en la movilidad urbana y la calidad de vida de la población.

Palabras clave: intercambio vial, congestión vehicular, nivel de servicio, microsimulación, movilidad urbana.

ABSTRACT

This research aims to propose a road interchange design to optimize the urban road system at the intersection of Pizarro and Guardia Civil avenues, located in the Paucarpata district of Arequipa province. The problem centers on chronic traffic congestion, long travel times, low operational efficiency, and high levels of road accidents, which negatively impact urban traffic and increase public and private transportation costs. These factors also cause public discontent and hinder economic growth in the surrounding area. The study was conducted using applied research with a quantitative, non-experimental design, employing field data collection techniques such as traffic counts, topographic surveys, and level of service analysis. Microsimulation tools such as Synchro Traffic and PTV VISSIM were also used to model current conditions and evaluate improvement scenarios. The results show that implementing the interchange significantly reduces traffic delays, improves the level of service, and optimizes traffic flow. According to the established reference points, a decrease in travel time was recorded: 270 seconds on Harley Avenue - Guardia Civil Avenue (C1-C2) and 193 seconds in the opposite direction. On Pizarro Avenue (P1-P2), the reduction was 190 seconds, and in the opposite direction, 215 seconds. Furthermore, the proposal generates benefits in road safety and the environment, consolidating a comprehensive improvement of the road system. It was concluded that the proposal constitutes a viable technical solution that contributes to improving travel time, with a reduction of up to 43% on Guardia Civil Avenue and up to 59% on Pizarro Avenue, demonstrating improvements in urban mobility and the quality of life for the population.

Keywords: road interchange, traffic congestion, level of service, microsimulation, urban mobility.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado del parque automotor y la expansión urbana en las ciudades peruanas han generado serios problemas de congestión vehicular, afectando la eficiencia del sistema de transporte y la calidad de vida de la población. En la ciudad de Arequipa, esta problemática se manifiesta de manera crítica en diversas intersecciones urbanas, siendo una de las más representativas el cruce de las avenidas Pizarro, Guardia Civil y Hartley, ubicado en el distrito de Paucarpata. La deficiente configuración geométrica, la falta de sincronización semafórica y el incremento sostenido de la demanda vehicular han generado altos niveles de congestión, mayores tiempos de viaje, incremento de emisiones contaminantes y un aumento en los índices de siniestralidad vial. Frente a este contexto, surge la necesidad de implementar soluciones de ingeniería vial que permitan optimizar la operatividad del sistema.

En este marco, la presente investigación tiene como objetivo proponer el diseño de un intercambio vial que mejore la capacidad operativa, la seguridad vial y la fluidez del tránsito en la intersección en estudio. Para ello, se emplea una metodología cuantitativa basada en levantamiento de información en campo, análisis del flujo vehicular y modelación mediante microsimulación. El estudio se estructura en cuatro capítulos: el primero aborda el planteamiento del problema y objetivos; el segundo desarrolla el marco teórico y normativo; el tercero describe la metodología aplicada; y el cuarto presenta los resultados, análisis y discusión de la propuesta.

Finalmente, la investigación busca aportar una solución técnica viable que contribuya a la planificación del transporte urbano sostenible, sirviendo como base para futuras intervenciones en intersecciones críticas de la ciudad de Arequipa y otras ciudades del país.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la intersección de la avenida Pizarro, avenida Guardia Civil y la avenida Hartley entre los distritos de Paucarpata y José Luis Bustamante y Rivero, provincia de Arequipa, se observa permanentemente la congestión vehicular crónica en horas punta que se agrava por calles con secciones transversales estrechas en dos sentidos y que se magnifica por el crecimiento desmedido del parque automotor y el mantenimiento deficiente de las vías de pavimento rígido o flexible; a ello se suma una red de semaforización con operación discontinua y desincronizada y el inexistente monitoreo en tiempo real por ausencia de un centro de control de gestión del tráfico vehicular, que conllevan a pérdidas de tiempo o tiempos de viaje mayores a los esperados, incremento de los costos operativos, incremento del consumo de combustible y mayores emisiones de gases invernadero (monóxidos, metanos, y otros gases), mayores riesgos de accidentes y siniestralidad vial, y obviamente, una percepción negativa y mayores costos sociales por atentar a la salubridad, confort y tranquilidad de la población usuaria y ciudadanos en general.

El problema principal en el sistema vial de la ciudad de Arequipa radica en las intersecciones diseñadas con deficiencias, las cuales generan serios conflictos en la circulación vehicular y peatonal, incrementando la congestión, los tiempos de viaje, la contaminación, el estrés de los usuarios y los riesgos de accidentes de tránsito. Este es el caso de la intersección entre la avenida Guardia Civil y la avenida Pizarro, donde la congestión vial se ha intensificado obligando a considerar soluciones más profundas, como la propuesta de un intercambio vial que descongestione el flujo vehicular actual y brinde mayores garantías de circulación para vehículos y peatones,

buscando elevar el nivel de vida de la población de los distritos directamente involucrados en esta intersección.

Es preciso mencionar que, los tiempos de recorrido para el transporte público reflejan una situación crítica de movilidad, generando congestión vial en las intersecciones como en el caso de la investigación planteada. Una encuesta realizada en 14 distritos metropolitanos y en las capitales de las ocho provincias de la región, determinó que los tiempos de desplazamiento diarios oscilan entre 30 minutos y 1 hora, y que prácticamente “ya no existe hora punta”, sino que la congestión es permanente (UCSP, 2025).

Dentro de este contexto, la presente investigación se centra en la propuesta del diseño de un intercambio vial entre las avenidas Pizarro, Hartley y Guardia Civil, con la capacidad operativa ampliada (reducción de tiempos de demora y aumento del nivel de servicio), la seguridad vial (menos conflictos entre vehículos, peatones y bicicletas) y la fluidez del tránsito (menor congestionamiento, menor pérdida de horas de uso productivo). Para ello, se propone analizar las condiciones actuales del flujo vehicular, los patrones de desplazamiento y los niveles de servicio tanto en horas punta como en periodos de demanda intermedia, con el fin de desarrollar una propuesta técnica que incorpore criterios de ingeniería vial moderna, sostenibilidad urbana y accesibilidad, contribuyendo al ordenamiento del transporte urbano y al bienestar de la población arequipeña.

A nivel internacional encontramos el mismo problema en la ciudad de México, Ascanio (2022) analiza de manera integral las principales problemáticas que enfrentan los usuarios del transporte público en la autopista México-Querétaro, identificando deficiencias estructurales como la saturación vehicular, la falta de infraestructura adecuada, la escasez de unidades y los tiempos excesivos de traslado, factores que en conjunto generan una movilidad precaria y limitan el acceso eficiente a actividades laborales y sociales. El estudio evidencia que la demanda creciente y la

ausencia de una planificación articulada entre municipios profundizan las condiciones de inseguridad, incomodidad y vulnerabilidad de los pasajeros. La tesis, desarrollada en la Universidad Nacional Autónoma de México, concluye que la movilidad en esta zona metropolitana requiere una reestructuración basada en criterios de eficiencia, seguridad y equidad para garantizar un transporte público funcional y sostenible.

A nivel nacional, en la ciudad de Lima, los registros evidencian que durante las horas punta la velocidad promedio apenas alcanza los 14 km/h en las mañanas, reflejando un nivel crítico de congestión urbana. De acuerdo con la Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional (AFIN), la congestión vehicular en Lima y Callao ocasiona pérdidas que superan los S/ 27 691 millones, cifra equivalente aproximadamente al 2.6 % del PBI, afectando directamente la productividad, el consumo de combustible y las emisiones contaminantes (Andina, 2025). Frente a esta problemática, MTC Noticias (2025) informó sobre la próxima implementación de tecnologías inteligentes en la red vial nacional con el fin de optimizar el tránsito, reforzar la seguridad vial y disminuir la ocurrencia de siniestros.

En este contexto, la alternativa más adecuada para abordar los diversos problemas asociados a la congestión vehicular y al desorden del flujo urbano es la implementación de los intercambios viales, usando un óptimo manejo de espacios. Esta investigación plantea un diseño integro de la intersección de las avenidas Pizarro, Hartley y Guardia Civil, con este se permitirá mejorar la circulación del transporte público y privado, así como el transporte peatonal, haciendo uso de adecuado de señalización vertical y horizontal se va optimizar el tiempo atravesar la intersección.

Asimismo, la propuesta demanda intervenciones complementarias en la infraestructura vial, con el diseño integral de un intercambio vial, la ampliación o limitación del uso de vías estrechas y la mejora de la señalización vertical y horizontal. Finalmente, su implementación requiere de

una gestión institucional y operativa eficiente que garantice la sostenibilidad y eficacia del sistema. Para tal fin, se utilizarán herramientas virtuales de simulación y evaluación de escenarios, como VISSIM y SYNCHRO TRAFFIC V12.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema principal

¿Cómo se diseña una propuesta de intercambio vial para optimizar el sistema vial urbano en el cruce de avenidas Pizarro - Guardia Civil en el distrito de Paucarpata, Arequipa 2025?.

1.2.2 Problemas secundarios

- ¿De qué manera la propuesta del diseño geométrico vial, interviene en la eficiencia del flujo vehicular en el cruce de avenidas Pizarro - Guardia Civil, distrito de Paucarpata, Arequipa, 2025?.
- ¿Cómo se determina la capacidad proyectada del intercambio vial que contribuya a mejorar la capacidad operativa del sistema vial urbano en el cruce de las avenidas Pizarro y Guardia Civil, distrito de Paucarpata, Arequipa – 2025?.
- ¿Cómo se diseña una propuesta de elementos de seguridad vial urbana que mejore la seguridad y sostenibilidad vial y reduce los conflictos en el cruce de las avenidas Pizarro y Guardia Civil, distrito de Paucarpata, Arequipa – 2025?.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Una vez implementado, el proyecto de investigación generará un impacto social altamente positivo, al incidir en la calidad de vida urbana, la seguridad vial y la eficiencia del desplazamiento vehicular y peatonal. Por lo que se espera la reducción del tiempo de viaje promedio en un 20 a 30 %, especialmente en las horas críticas de la mañana y en las horas críticas de la tarde; la disminución de la siniestralidad vial por mejora en la sincronización semafórica y gestión de intersecciones; el incremento en la percepción ciudadana de seguridad y bienestar, al reducir el estrés asociado a

la congestión vehicular; mejor equidad urbana, ya que un tránsito más fluido favorece el acceso oportuno a servicios básicos (salud, educación, trabajo), finalmente la contribución a la reducción de la contaminación ambiental.

Justificación social (enfoque ODS)

La problemática de movilidad en esta intersección se vincula directamente con el desarrollo urbano sostenible. La ciudad de Arequipa enfrenta altos niveles de congestión vehicular, situación que las autoridades buscan reducir mediante campañas para ordenar el tránsito y mejorar el transporte público. Además, sectores de la avenida Guardia Civil suelen sufrir congestión y requieren proyectos de intercambio vial para optimizar la circulación. Desde el enfoque de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) especialmente el ODS 11, referido a ciudades seguras y sostenibles estudiar este problema es socialmente relevante porque:

- La congestión afecta la calidad de vida al incrementar tiempos de traslado, en consecuencia la prolongación del encendido de los motores del parque automotor incrementa la contaminación ambiental, además de generar mayores índices de estrés urbano.
- Eleva el riesgo de accidentes; por ejemplo, un choque múltiple en esta avenida dejó al menos 15 heridos y restringió el tránsito (Arequipa, Redacción PERÚ21, 22/08/2019).
- El impacto tanto a conductores como peatones, quienes ya han manifestado incomodidad ante el tráfico generado por restricciones viales en zonas conectadas con Paucarpata (Arequipa, La república 2022).

Justificación metodológica

El estudio de esta intersección resulta metodológicamente pertinente porque la literatura señala que la falta de infraestructura adecuada y el desorden en servicios de transporte colectivo (combis, microbuses, vans, autos, camionetas y taxis) generan congestión, especialmente en horas punta, además de contaminación ambiental y sonora. Asimismo, investigaciones

sobre tráfico urbano indican que las deficiencias en señalización horizontal y vertical y el diseño geométrico de intersecciones afectan el flujo vehicular y la calidad de vida de los usuarios.

Por ello, analizar este nodo vial permite aplicar metodologías como:

- estudios de flujo vehicular,
- medición de nivel de servicio,
- análisis de seguridad peatonal,
- evaluación del transporte público y privado.

Valor metodológico: la intersección funciona como un “caso crítico” representativo de los problemas de movilidad en la ciudad de Arequipa y en ciudades intermedias del Perú, permitiendo generar evidencia replicable para futuras intervenciones urbanas.

Justificación práctica

La importancia práctica radica en que ya se proyectan intervenciones públicas para mejorar la circulación en la avenida Guardia Civil, lo que demuestra la necesidad real de soluciones de ingeniería vial y planificación. Asimismo, las autoridades han planteado medidas como respetar el paso en intersecciones sin semáforos, evitar bloquear cruces y usar correctamente los giros, lo que evidencia problemas operativos en la gestión del tránsito.

Un diagnóstico específico de esta intersección permitiría:

- diseñar estrategias para ordenar el transporte público y privado,
- mejorar la señalización y los cruces peatonales,
- reducir accidentes y conflictos entre usuarios de la vía,
- optimizar los tiempos de desplazamiento.

Utilidad: los resultados podrían servir como base técnica para municipalidades o entidades de transporte al priorizar inversiones y aplicar medidas de movilidad sostenible. Además, permitirían sustentar la implementación de intervenciones como rediseño geométrico, semaforización inteligente y gestión de tráfico basada en datos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Proponer el diseño de intercambio vial para optimizar el sistema vial urbano en el cruce de avenidas Pizarro-Guardia Civil en el distrito de Paucarpata, Arequipa 2025.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el nivel de intervención de la propuesta del diseño geométrico vial en la eficiencia del flujo vehicular en el cruce de avenidas Pizarro-Guardia Civil, Distrito de Paucarpata, Arequipa, 2025.
- Determinar la capacidad proyectada del intercambio vial que contribuye a mejorar la capacidad operativa del sistema vial urbano en el cruce de las avenidas Pizarro y Guardia Civil, distrito de Paucarpata, Arequipa – 2025.
- Proponer el diseño de elementos de seguridad vial para la mejora de la seguridad y sostenibilidad vial urbana y reducción de conflictos en el cruce de las avenidas Pizarro y Guardia Civil, distrito de Paucarpata, Arequipa – 2025.

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Antecedentes internacionales

Santos (2020) en su tesis de maestría, *Análisis de la operación de la intersección mediante el software PTV VISSIM*, de la Universidad Autónoma de Chihuahua, presenta un análisis detallado del desempeño operativo de una intersección urbana utilizando el software de simulación microscópica PTV VISSIM, herramienta que permite reproducir con alta precisión el comportamiento vehicular y peatonal en condiciones reales de tráfico. El estudio desarrolla un modelado calibrado a partir de datos de campo, evaluando variables como retrasos, niveles de servicio, tiempos de viaje y capacidad, con el fin de comparar el funcionamiento actual de la intersección frente a posibles alternativas de mejora. Los resultados evidencian la utilidad de VISSIM para identificar cuellos de botella, estimar escenarios de optimización y sustentar técnicamente decisiones de ingeniería vial orientadas a incrementar la eficiencia y seguridad del flujo vehicular en entornos urbano.

Mills, T. D. (2024) en su tesis de maestría, *Assessing the impacts of CAVs on a coordinated signalized corridor*. La tesis de Mills (2024) analiza cómo la incorporación de vehículos conectados y automatizados (CAVs) influye en el funcionamiento de un corredor con semáforos coordinados, utilizando simulaciones realizadas en PTV VISTRO y PTV VISSIM para un tramo de siete intersecciones en Eagle Road, Boise (Idaho). El estudio evalúa distintos niveles de presencia de CAVs en el tráfico y mide indicadores como demoras, longitudes de cola, nivel de servicio y tiempos de viaje. Sus resultados muestran que, a medida que aumenta la proporción de CAVs, el corredor opera con mayor eficiencia: se reducen las demoras y congestiones,

mejoran los niveles de servicio y los tiempos de recorrido son más cortos. Esta investigación demuestra el potencial de los CAVs para optimizar progresivamente la operación de la infraestructura semaforizada urbana.

Samandi (2021) en su tesis de maestría, *Evaluación del desempeño operativo y ambiental de diseños alternativos de intercambios viales mediante microsimulación con PTV VISSIM*, analiza el desempeño de tres configuraciones de intercambio vial el convencional (CDI), el intercambio urbano de un solo punto (SPUI) y el intercambio de diamante divergente (DDI) mediante microsimulación con el software PTV VISSIM y cálculos de emisiones usando módulos externos, a partir de datos reales de tráfico en un intercambio ubicado en I-75 con Austin Blvd en Dayton, Ohio. El estudio calibra cada modelo, optimiza la señalización con PTV Vistro y evalúa tanto la operación vehicular (como demora y longitud de cola) como el consumo de combustible y las emisiones (CO₂, CO, NO_x) bajo diferentes niveles de demanda. Los resultados muestran que los diseños alternativos (SPUI y DDI) reducen sustancialmente las emisiones y el consumo de combustible hasta un 85 % en comparación con el CDI, lo que confirma que rediseños geométricos y operativos de intercambios viales pueden generar mejoras operativas y ambientales significativas para entornos de alta congestión.

Diverging Diamond Interchange (DDI) – Estados Unidos. El modelo denominado *Diverging Diamond Interchange* (DDI) ha sido ampliamente aplicado en diversas ciudades de los Estados Unidos como solución innovadora para intersecciones entre autopistas y vías urbanas principales. Su configuración geométrica permite que los vehículos crucen temporalmente al lado opuesto de circulación, facilitando giros izquierdos libres sin conflicto y reduciendo fases semaforicas. Estudios desarrollados por la Federal Highway Administration (FHWA) determinaron que este tipo de infraestructura reduce significativamente los puntos de conflicto vehicular, mejora la capacidad operativa y puede disminuir accidentes entre 30 % y 50 %, dependiendo de la demanda y condiciones locales. Asimismo, registra menores tiempos de

demora respecto a intersecciones convencionales semaforizadas. La experiencia internacional confirma que los intercambios viales modernos constituyen soluciones eficientes para corredores congestionados (Federal Highway Administration, 2017).

Antecedentes nacionales

Ramírez Torres y Chura Mamani (2019) en su tesis de maestría, *Evaluación técnica de alternativas de intersecciones a desnivel mediante simulación vehicular en VISSIM*, desarrollaron una evaluación comparativa de alternativas de intersecciones a desnivel utilizando el software de micro simulación VISSIM, destacando cómo la modelación avanzada permite cuantificar variaciones en capacidad vial, demoras y niveles de servicio al analizar configuraciones complejas de intercambio; su trabajo evidencia la utilidad de la simulación para seleccionar alternativas óptimas en contextos urbanos con alta congestión, aportando una base metodológica aplicable al diseño de nuevos intercambios viales en ciudades peruanas.

Gómez Ticona (2022) en su tesis de tesis de maestría, *Análisis del flujo vehicular y determinación del nivel de servicio en intersecciones urbanas aplicando metodología HCM 2016*. Desarrolla un estudio orientado a evaluar el funcionamiento de intersecciones urbanas mediante el análisis del flujo vehicular y la determinación del nivel de servicio utilizando la metodología propuesta por el *Highway Capacity Manual* (HCM 2016). La investigación aplica técnicas de aforo, caracterización del tránsito y modelación operacional para diagnosticar la capacidad vial y el desempeño de los movimientos vehiculares en escenarios reales de la ciudad del Cusco. Sus resultados permiten identificar condiciones de congestión, estimar demoras promedio y proponer medidas de mejora para optimizar la movilidad urbana y la gestión del tránsito en intersecciones críticas.

Quispe Quispe (2020) en su tesis de maestría, *Evaluación del flujo vehicular en corredores urbanos mediante microsimulación con AIMSUN en*

contextos de alta congestión, desarrolla una investigación orientada a evaluar el flujo vehicular en corredores urbanos caracterizados por altos niveles de congestión, empleando la microsimulación con el software AIMSUN como herramienta principal de análisis. El estudio se basa en la recopilación de datos de tránsito, la calibración y validación de modelos de simulación y la evaluación comparativa del desempeño vial bajo distintos escenarios operacionales. Los resultados permiten identificar puntos críticos de saturación, estimar indicadores de eficiencia como demoras y velocidades promedio, y proponer alternativas de mejora que contribuyan a optimizar la movilidad y la gestión del tránsito en corredores urbanos conflictivos.

Intercambio vial Óvalo Monitor Huáscar – Lima, Perú. El intercambio vial ubicado en el entorno del Óvalo Monitor Huáscar, en la ciudad de Lima, constituye una de las principales soluciones de ingeniería implementadas para mejorar la conectividad entre vías metropolitanas de alto volumen vehicular. La intervención consistió en la construcción de pasos a desnivel, rampas de incorporación y segregación de movimientos conflictivos, permitiendo separar flujos continuos del tránsito local. Diversos reportes técnicos de la Municipalidad Metropolitana de Lima señalaron que la obra permitió una reducción significativa en los tiempos de desplazamiento y una mejora en la continuidad operacional del corredor este-oeste de la ciudad. Asimismo, la eliminación de cruces directos y movimientos forzados incrementó la seguridad vial y redujo la congestión en horas punta. Este caso demuestra que la infraestructura a desnivel representa una alternativa eficiente cuando la demanda supera la capacidad operativa de una intersección convencional (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2020).

Antecedentes locales

Ayala Paredes (2018) en su tesis de maestría, *Mejoramiento de la capacidad en intersecciones semaforizadas mediante rediseño geométrico y optimización de fases de semáforo*, realiza un estudio centrado en mejorar la capacidad operativa de intersecciones semaforizadas mediante el rediseño

geométrico y la optimización de las fases del semáforo, con el propósito de reducir demoras y aumentar la eficiencia del tránsito. La investigación integra levantamientos de campo, análisis de demanda vehicular y modelación operacional para diagnosticar el desempeño actual de la intersección. A partir de estos resultados, se plantean ajustes en la configuración geométrica y en la programación semafórica que permiten incrementar la capacidad, mejorar los niveles de servicio y contribuir a una gestión más eficiente del flujo vehicular en entornos urbanos.

Salas Mamani (2019) en su tesis de maestría, *Diseño geométrico urbano para la reducción de conflictos y mejora de la seguridad vial en intersecciones críticas de Arequipa*. desarrolla una investigación orientada al diseño geométrico urbano como estrategia para reducir conflictos vehiculares y mejorar la seguridad vial en intersecciones críticas de la ciudad de Arequipa. El estudio emplea técnicas de levantamiento en campo, análisis de flujos y evaluación de puntos de conflicto para diagnosticar las condiciones operacionales y los factores que incrementan el riesgo de siniestros viales. Con base en estos resultados, se propone un conjunto de intervenciones geométricas que buscan optimizar la visibilidad, ordenar los movimientos vehiculares y peatonales, y fortalecer la seguridad y eficiencia en las intersecciones evaluadas.

Choquehuanca Vargas (2021) en su tesis de maestría, *Evaluación integral del tránsito en intersecciones urbanas con alto índice de accidentalidad y propuesta de solución vial*. realiza una evaluación integral del tránsito en intersecciones urbanas caracterizadas por elevados índices de accidentalidad, con el objetivo de identificar las causas operacionales y geométricas que contribuyen a la ocurrencia de siniestros viales. La investigación combina aforos vehiculares, análisis de seguridad vial, revisión de historial de accidentes y diagnóstico de la infraestructura existente para determinar las condiciones que comprometen la fluidez y seguridad del tránsito. A partir de estos hallazgos, se plantean propuestas de solución vial

orientadas a mejorar la organización de los movimientos, optimizar la operación de la intersección y reducir la probabilidad de incidentes mediante intervenciones de carácter geométrico y operacional.

Intercambio vial Avenida Venezuela – Arequipa, Perú. En la ciudad de Arequipa, la intervención vial ejecutada en el eje de la avenida Venezuela constituye un referente local de mejora urbana orientada a optimizar la movilidad vehicular en sectores de alta demanda. El proyecto comprendió ampliación de calzadas, mejoramiento geométrico, canalización de movimientos vehiculares y modernización de la señalización horizontal y vertical. Los resultados operacionales evidenciaron una mayor fluidez del tránsito, disminución de maniobras conflictivas y reducción de tiempos de espera en intersecciones reguladas. Además, permitió una mejor integración entre transporte público y tránsito particular, incrementando la eficiencia del sistema vial urbano. Este antecedente resulta relevante por desarrollarse en una ciudad con características urbanas similares al área de estudio de la presente tesis (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2021).

2.2 NORMATIVA VIGENTE

Normatividad internacional

- a. *Directiva 2010/40/UE sobre sistemas inteligentes de transporte (Unión Europea).*

Es el marco europeo para el despliegue coordinado de Sistemas Inteligentes de Transporte en transporte por carretera y la interoperabilidad entre modos. Establece la necesidad de especificaciones y estándares de gestión del tráfico, información al usuario, prioridad a transporte público, seguridad en intersecciones.

- b. *HCM — Highway Capacity Manual (2022-7ª edición)*

Manual de referencia para análisis de capacidad, nivel de servicio (LOS) y desempeño operacional de calles e intersecciones (métodos para evaluar tiempos de demora, velocidades y niveles de servicio en

vías urbanas y señalizadas). Para el presente estudio, permite medir la mejora operacional generada por la propuesta de intercambio vial.

- c. *Sistemas de transporte -America (documentos de buenas prácticas y casos).*

Organización norteamericana que recopila guías, casos y recomendaciones para sistemas de transporte, priorización de transporte público, y uso de tecnologías conectadas.

- d. *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).*

representa una de las principales referencias normativas para el diseño geométrico vial en zonas urbanas y rurales. Este manual establece criterios técnicos relacionados con el ancho de carriles, radios mínimos de giro, distancias de visibilidad de parada y adelantamiento, pendientes longitudinales máximas, peraltes, secciones transversales, accesos, intersecciones e intercambios viales.

Normatividad nacional

- a. *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018*

Aprobado mediante Resolución Directoral del MTC, el cual establece criterios técnicos para el planeamiento y diseño geométrico de vías, considerando parámetros como velocidad de diseño, ancho de carriles, radios mínimos de curvatura horizontal, pendientes máximas admisibles, curvas verticales, bermas, separadores centrales, accesos y condiciones de seguridad vial.

- b. *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras-MC-09-2016, y actualizaciones-* (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2016).

Manual técnico oficial peruano que regula diseño y uso de dispositivos de control (señalización vertical/horizontal, semáforos, tiempos de fase, criterios de diseño).

- c. *MTC — "Desarrollo de la Arquitectura y Plan Maestro de Sistemas de Transporte del Perú" (Informe oficial, 2021)*

Documento de referencia estratégica que propone una arquitectura nacional para casos de uso y recomendaciones organizacionales y técnicas para el país.

- d. *Normativa ambiental — MINAM: Límites Máximos Permisibles (LMP) y Decreto Supremo N°029-2021 (modifica DS 010-2017)*

Normas que fijan límites de emisión para vehículos automotores y actualizaciones hacia estándares Euro/Tier; directrices para control de emisiones vehiculares.

- e. *Reglamento Nacional de Vehículos (Decreto Supremo N° 058-2003 y modificatorias)*

Normativa que regula aspectos técnicos y administrativos del parque vehicular en el Perú (homologaciones, condiciones técnicas, registro).

- f. *Manuales y guías de planificación urbana / PMUS (normas regionales y ministeriales).*

Documentos técnicos para la elaboración de Planes de Movilidad Urbana Sostenible que incluyen recomendaciones sobre sistema de transporte eficiente.

2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS

Variables

a. Gestión vehicular urbana

La gestión vehicular urbana es un conjunto de procesos administrativos y operativos (planificación, control, monitoreo y políticas) dirigidos a lograr objetivos de movilidad, accesibilidad, sostenibilidad y seguridad. En la práctica incorpora instrumentos como control de semáforos, gestión de la demanda, priorización de corredores, y monitoreo en tiempo real. La literatura de gestión urbana y guías técnicas describen la integración entre prácticas de gestión y tecnologías, para mejorar indicadores operativos y ambientales (World Bank, 2023).

La variable Gestión vehicular se descompone en dimensiones como: Fluidez vehicular (velocidad promedio), eficiencia operativa (tiempo medio de viaje), sostenibilidad ambiental (emisiones) y seguridad vial (incidentes).

Fluidez vehicular (velocidad promedio)

Desde la óptica de gestión, la *teoría del control de tráfico* y la planificación de redes urbanas sostienen que la organización de señales y la asignación de prioridad (p. ej. corredores, sincronización) incrementan la velocidad media efectiva sin sacrificar seguridad. Estudios comparativos y guías (FHWA/TRB) presentan metodologías para medir y proyectar la velocidad promedio como indicador primario de desempeño de gestión (FHWA, 2011).

Eficiencia operativa (tiempo medio de viaje)

La *gestión del desempeño* urbano usa indicadores de tiempo medio y confiabilidad para evaluar eficacia de medidas (p. ej. reasignación de prioridades, carriles bus, gestión de demanda). Guías NCHRP/TRB ofrecen métodos para medir tiempos medios y su variabilidad, que son la base para decisiones operativas y para evaluar proyectos de gestión, incluyendo la implementación de un sistema eficiente (NCHRP, 2010).

Sostenibilidad ambiental (emisiones)

La gestión urbana incorpora *modelos de emisiones vinculados a operaciones de tráfico* (micro-simulación, modelos de velocidad-emisión) para cuantificar impactos y diseñar medidas (restricciones, gestión de señal, prioridad modal) que reduzcan emisiones. Estudios recientes y revisiones sistemáticas muestran, cómo intervenciones de gestión, logran reducciones medibles en emisiones urbanas. Estudios que incorporan objetivos multi-criterio encuentran que la optimización simultánea por tiempo de viaje y emisiones reduce los arranques/paradas y, por ende, las

emisiones estimadas habitual uso de factores de emisión y modelos COPERT o ecuaciones simplificadas. (Salem, 2022; Elassy, 2024).

b. Seguridad vial (incidentes)

La gestión urbana incorpora *modelos de emisiones vinculados a operaciones de tráfico* (micro-simulación, modelos de velocidad-emisión) para cuantificar impactos y diseñar medidas (restricciones, gestión de señal, prioridad modal) que reduzcan emisiones. La *gestión de seguridad vial* aplica principios de la Haddon Matrix y del enfoque Safe System para diseñar intervenciones operativas (control de velocidad, respuesta a incidentes, iluminación, normalización de infraestructuras). La evidencia técnica muestra que la gestión integrada (política + operación + tecnología) reduce la ocurrencia e impacto de incidentes en entornos urbanos. Estudios recientes y revisiones sistemáticas muestran cómo intervenciones de gestión y su potenciación por intercambios viales óptimos logran reducciones medibles en emisiones urbanas. El ajuste fino de tiempos semafóricos y la coordinación reduce conflictos en intersecciones; sin embargo, algunos estudios locales advierten que soluciones orientadas al vehículo pueden perjudicar prioridad peatonal si no se diseñan integralmente. (Cruz, 2024).

Dimensión técnica: Semaforización y sincronización

El control adaptativo de SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique - Técnica de Optimización de División, Ciclo y Desfase) / SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System - Sistema Adaptativo Coordinado de Tráfico de Sídney), o soluciones basadas en RL/ML) es más eficiente que ciclos fijos en entornos dinámicos; requiere detectar confiabilidad y centro de control para operar en tiempo real. (Avcı, 2024; Agrahari et al., 2024). En Perú, los proyectos de semaforización en Lima y Arequipa han demostrado beneficios operativos y económicos operativos en simulación y pilotos, pero subrayan la importancia de mantenimiento y gobernanza municipal. (Torres, 2023).

Marco conceptual

Centro de Gestión del Tráfico / Traffic Management Center (TMC)

Es el nodo operativo que centraliza la recolección de datos, la supervisión y el control de dispositivos de campo (semáforos, cámaras) y ejecuta estrategias de gestión en tiempo real. (América; NTCIP, 2023).

Control semafórico

El sistema que ajusta fases y ciclos en tiempo real según demanda detectada, usando reglas heurísticas o algoritmos de optimización/IA (SCOOT/SCATS o soluciones basadas en ML/RL). Reduce demoras y mejora nivel de servicio. (Agrahari et al., 2024; Avcı, 2024).

Nivel de Servicio (Level of Service - LOS)

La clasificación del desempeño vial (A–F) según HCM basada en velocidad, densidad o demora (tema central para medir impacto de intercambio vial). (HCM 22, 2024).

Factor de emisión / COPERT / Modelos de emisión

Los enfoques para estimar emisiones vehiculares en g/km basados en velocidad, tipo de vehículo y patrón de circulación; herramienta para dimensionar beneficios ambientales. (UNECE, 2023).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL PROYECTO

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA

3.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación se enmarca en el tipo de investigación aplicada, ya que orienta el uso de fundamentos metodológicos hacia la solución de un problema concreto de movilidad urbana en la intersección de las avenidas Hartley, Pizarro y Guardia Civil, en el distrito de Paucarpata, Arequipa. Este tipo de investigación se caracteriza por emplear el conocimiento teórico para intervenir una realidad específica y generar propuestas de mejora con impacto práctico, a diferencia de la investigación básica, cuyo propósito es ampliar el saber científico sin una aplicación inmediata (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Ñaupas et al., 2018). En tal sentido, el estudio analiza las condiciones del transporte vehicular y peatonal con la finalidad de optimizar la circulación, reducir riesgos de accidentalidad y fortalecer la accesibilidad urbana, contribuyendo tanto al ámbito académico como a la gestión pública local.

3.1.2 Nivel de investigación

La investigación se desarrolla en un nivel aplicativo, en tanto orienta la utilización del conocimiento científico hacia la atención de una problemática concreta de movilidad urbana en la intersección de las avenidas Hartley, Pizarro y Guardia Civil, en el distrito de Paucarpata, Arequipa. El nivel aplicativo se distingue por trascender la descripción de los fenómenos y centrarse en el análisis de condiciones reales con el propósito de formular propuestas técnicas viables que contribuyan a la solución de problemas específicos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Ñaupas et al., 2018). En este marco, el estudio examina el transporte vehicular y el tránsito peatonal para plantear alternativas orientadas a mejorar la circulación, fortalecer la

seguridad vial y optimizar el uso del espacio urbano, de modo que sus resultados sirvan como base técnica para la planificación y gestión del tránsito por parte de las autoridades competentes.

3.1.3 Justificación del enfoque aplicado

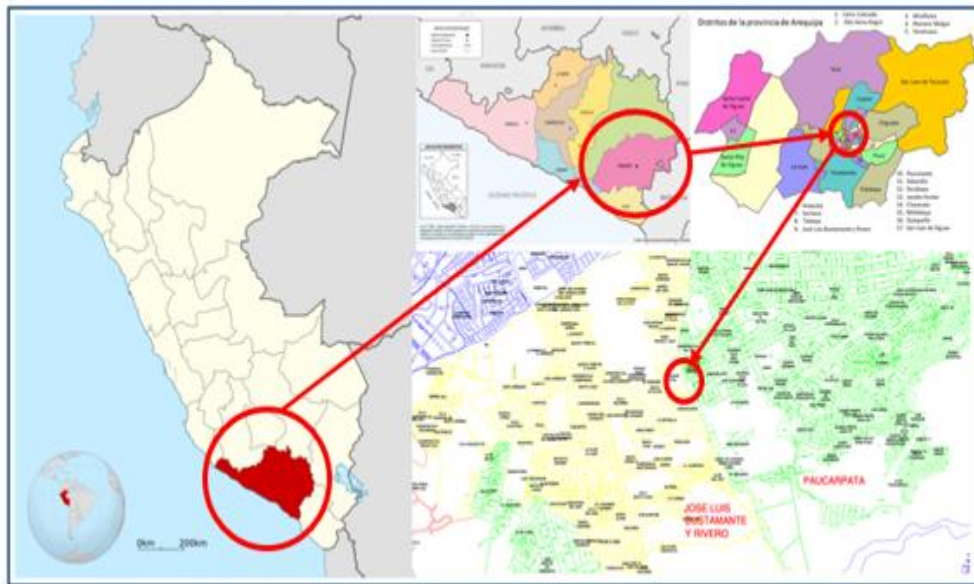
La investigación adopta un enfoque cuantitativo, dado que busca comprender de manera profunda las dinámicas y percepciones vinculadas a la movilidad urbana en la intersección de las avenidas Hartley, Pizarro y Guardia Civil, en el distrito de Paucarpata, Arequipa. El enfoque cuantitativo se orienta a interpretar los fenómenos desde la perspectiva de los actores involucrados, permitiendo analizar experiencias, percepciones y contextos sociales que influyen en la realidad estudiada (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Ñaupas et al., 2018). En este sentido, el estudio examina la percepción de seguridad, el ordenamiento del tránsito y las dificultades de desplazamiento de peatones y conductores, con el propósito de construir un diagnóstico integral que sustente propuestas de mejora acordes con la realidad urbana y favorezca una planificación del transporte más segura, accesible y eficiente.

3.2 DISEÑO DEL PROYECTO

3.2.1 Etapas del proyecto

La presente investigación de tesis tiene como ubicación geográfica:

Departamento	: Arequipa
Provincia	: Arequipa
Distritos	: Paucarpata y José Luis Bustamante y Rivero
Avenidas	: Guardia Civil, Pizarro y Hartley

Figura 1*Ubicación de la zona de estudio***Figura 2***Ubicación de la intersección de la zona de estudio*

Nota: La imagen ubica con precisión. Extraído de Google Earth Pro, 2024.

El desarrollo del presente proyecto de ingeniería vial se estructuró en cinco etapas secuenciales e interdependientes, orientadas al diagnóstico de la problemática existente, la modelación operativa del tránsito y la formulación de una propuesta técnica de intercambio vial para la intersección de las avenidas Pizarro, Guardia Civil y Hartley, ubicada en el distrito de Paucarpata, Arequipa. La metodología aplicada integra procedimientos de levantamiento de información, simulación de tránsito, diseño geométrico y evaluación comparativa, conforme a criterios establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y metodologías internacionales de capacidad vial (MTC, 2018; TRB, 2022).

Primera etapa: Revisión de la información y trabajos previos.

En esta etapa se delimitó el área de estudio y se recopiló información secundaria proveniente de entidades públicas y fuentes técnicas especializadas, incluyendo planos urbanos, inventario semafórico, jerarquización vial, registros de mantenimiento, antecedentes de tránsito y documentación cartográfica disponible. Esta revisión permitió conocer las condiciones funcionales de la intersección y establecer los criterios iniciales para la investigación.

Segunda etapa: Trabajos de campo y levantamiento de datos

Se ejecutó el levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico mediante estación total, sistema GPS y procesamiento digital con Civil 3D y AutoCAD, obteniéndose coordenadas, cotas, perfiles longitudinales y secciones transversales del área de intervención. Asimismo, se realizaron aforos vehiculares durante siete días consecutivos, registrando volúmenes horarios, composición vehicular y movimientos de giro. La información recopilada constituyó la base técnica para la calibración del modelo y el diseño geométrico propuesto. El aforo vehicular se realizó de acuerdo a formato del Diseño Geométrico (DG-2018), del ministerio de transportes y comunicaciones, este se muestra en la siguiente figura.

Figura 3

Formato de conteo vehicular – Clasificación vehicular

FORMATO N° 1.3

FORMATO DE CONTEO Y CLASIFICACIÓN VEHICULAR

  Ministerio de Transportes y Comunicaciones		FORMATO DE CONTEO Y CLASIFICACIÓN VEHICULAR	
NOMBRE DE LA COOPERATIVA: _____		ENTRADA: ☐ SALIDA: ☐	
SENSIO: _____		ESTACION: _____ CARGO DE LA ESTACION: _____ DIA Y FECHA: _____	

HORA	SENSIO	MOTOS	MOTO TAXI	MOTO CARRETERA	AUTO	CAMIONETA	COMBUSTIBLE			MICRO	BUS			CAMION					SEMITRUCK				MERCEN			
							PICK UP	PASAJERO	REDEL		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
A	1																									
A	2																									
A	3																									
A	4																									
A	5																									
A	6																									
A	7																									
A	8																									
A	9																									
A	10																									
A	11																									
A	12																									
A	13																									
A	14																									
A	15																									
A	16																									
A	17																									
A	18																									
A	19																									
A	20																									

INICIALIZADOR: _____
 LETRA DEL OPERADOR: _____
PAIS DEL OPERADOR: _____
SUBSECTOR: _____

Nota: Formato del Diseño geométrico, del ministerio de transportes y comunicaciones.

Tercera etapa: Preparación de la red y datos para simulación

En esta etapa, la información obtenida en campo fue transformada en una red digital y en parámetros operacionales aptos para ser incorporados en los simuladores (VISSIM, SYNCHRO TRAFFIC). La información del levantamiento topográfico fue procesada para realizar el trabajo de diseño vial y aplicación de los programas de modelado del flujo vehicular. Finalmente se determinó la red a formatos compatibles y se definieron los perfiles de demanda, se asignaron los flujos y las rutas operativas. Asimismo, se establecieron los parámetros vehiculares y de comportamiento, considerando los tipos de vehículos, longitudes, capacidades de aceleración y patrones de conducción, de acuerdo con los requerimientos específicos del simulador.

Cuarta etapa: Modelado y calibración del escenario actual

Con la red implementada se desarrolló el modelo base correspondiente a la situación actual de la intersección. Posteriormente, se ejecutó el proceso de calibración y validación comparando resultados simulados con datos observados en campo, tales como velocidades promedio, tiempos de recorrido, formación de colas y volúmenes vehiculares. Este procedimiento permitió obtener una representación confiable del comportamiento real del tránsito. Finalmente, se documentó el proceso iterativo de calibración siguiendo las directrices establecidas en las guías de PTV y SYNCHRO TRAFFIC, obteniendo así un modelo base calibrado y validado para la presente investigación.

Quinta etapa: Diseño, evaluación y modelado del escenario con proyecto

Este procedimiento permitió representar la arquitectura propuesta y evaluar su desempeño en red bajo distintos escenarios. Primero, se deberá definir la arquitectura funcional y tecnológica del diseño vial, comprendiendo el centro de gestión de tránsito. Después se implementó el sistema de control adaptativo dentro del simulador, se configurarán los escenarios de análisis y se ejecutó múltiples corridas para garantizar estabilidad estadística, registrando indicadores como tiempos de viaje, velocidades promedio,

demoras, longitudes de cola, la frecuencia de incidentes simulados. Finalmente, se procedió a diseñar el intercambio vial y las señales verticales y horizontales mediante un proceso iterativo de ejecución, comparación y ajuste, obteniendo como resultado los indicadores por escenario y las tablas comparativas que evidencian las mejoras porcentuales alcanzadas.

Simulación calibración y evaluación de escenarios.

Con la finalidad de evaluar objetivamente el desempeño operacional de la intersección vial de las avenidas Pizarro, Guardia Civil y Hartley, se aplicó una metodología de simulación de tránsito mediante herramientas especializadas de modelamiento vehicular. La simulación constituye una técnica ampliamente utilizada en ingeniería de transporte, ya que permite representar en digital el comportamiento del sistema vial bajo condiciones reales y analizar alternativas de intervención sin necesidad de ejecutar obras físicas preliminares. En la presente investigación se utilizó principalmente el software PTV VISSIM para la microsimulación del tránsito y Synchro Traffic para el análisis complementario de capacidad y nivel de servicio (PTV Group, 2023; Trafficware, 2023).

Construcción del modelo base. Como etapa inicial, se desarrolló el modelo digital correspondiente a la situación actual de la intersección. Para ello se incorporó la geometría existente de la vía, número de carriles, sentidos de circulación, fases semafóricas, movimientos permitidos, restricciones operativas y condiciones observadas en campo. Asimismo, se ingresaron los volúmenes vehiculares obtenidos en los aforos realizados durante siete días consecutivos, así como la composición del tránsito por tipo de vehículo. Los parámetros operacionales incluyeron velocidades deseadas, aceleración, desaceleración, aceptación de brechas, comportamiento de cambio de carril y tiempos de reacción, permitiendo representar con mayor fidelidad el comportamiento real de los usuarios de la vía.

Calibración y validación del modelo. Una vez construido el escenario actual, se procedió a la calibración del modelo mediante ajustes iterativos de parámetros hasta lograr coherencia entre los resultados simulados y los datos observados en campo. Para ello se compararon variables como velocidad promedio de circulación, tiempos de recorrido, formación de colas, volumen procesado por carril y demoras en accesos principales. Posteriormente, se efectuó la validación del modelo con la finalidad de verificar que la simulación represente adecuadamente las condiciones reales del sistema vial. Este procedimiento es fundamental en estudios de ingeniería de tránsito, debido a que garantiza confiabilidad en los resultados obtenidos y legitimidad técnica en las propuestas evaluadas.

Escenario 1: Situación actual

El primer escenario analizado correspondió a la configuración vial existente sin intervención. Los resultados mostraron condiciones de operación deficientes durante horas punta, caracterizadas por elevados niveles de congestión, demoras significativas en accesos principales y formación prolongada de colas vehiculares. En términos operacionales, la intersección presentó un nivel de servicio desfavorable, equivalente a categorías críticas según los criterios del Highway Capacity Manual, evidenciando que la demanda vehicular supera la capacidad funcional de la infraestructura actual (TRB, 2022).

Escenario 2: Propuesta con intercambio vial

El segundo escenario correspondió a la implementación virtual de la propuesta de intercambio vial planteada en la investigación. Para ello se incorporó una nueva configuración geométrica con separación de movimientos conflictivos, continuidad de flujos principales, carriles de incorporación y mejora de accesos secundarios.

Los resultados de simulación evidenciaron una mejora sustancial en el funcionamiento del sistema vial, observándose reducción de demoras promedio, incremento de velocidades de operación, disminución de colas vehiculares y mejor distribución del tránsito. Asimismo, el nivel de servicio mejoró hacia categorías operacionales aceptables, compatibles con una infraestructura urbana moderna.

Evaluación comparativa de escenarios

La comparación entre ambos escenarios permitió determinar que la propuesta de intercambio vial genera beneficios técnicos significativos respecto a la situación actual. La simulación demostró que la intervención mejora la capacidad de la intersección, reduce tiempos de viaje y optimiza la movilidad urbana del sector, constituyéndose en una alternativa técnicamente viable para atender la demanda presente y futura.

3.2.2 Herramientas y/o paquetes informáticos utilizados

En la investigación se utilizó las siguientes herramientas y paquetes informáticos:

El software AutoCAD Civil 3D, desarrollado por Autodesk, fue utilizado para el procesamiento del levantamiento topográfico y la elaboración del diseño geométrico preliminar de la propuesta vial. Mediante esta herramienta se generaron superficies digitales del terreno, curvas de nivel, perfiles longitudinales, secciones transversales y alineamientos horizontales y verticales. Asimismo, permitió modelar la configuración geométrica del intercambio vial propuesto, verificando pendientes, radios de giro, rasantes y compatibilidad con la infraestructura existente. Su aplicación resulta ampliamente reconocida en proyectos de ingeniería civil y transporte por su capacidad de integrar información topográfica con criterios de diseño técnico (Autodesk, 2024).

Micro simulador de tráfico: PTV VISSIM es un microsimulador multimodal que permite modelar de manera detallada el comportamiento de

vehículos, peatones y sistemas semafóricos, incluyendo la integración de controladores externos, lo que lo convierte en una herramienta idónea para el análisis de intercambios viales complejos (PTV Group, 2023). Por su parte, Synchro es un software especializado en el análisis y optimización del flujo vehicular en intersecciones y corredores urbanos, mediante la evaluación de fases, tiempos de ciclo y coordinación semafórica, permitiendo comparar escenarios de mejora en términos de demoras, colas, capacidad y nivel de servicio (Cubic Transportation Systems, 2023). En conjunto, ambas herramientas constituyen soportes técnicos fundamentales para la planificación y optimización de la movilidad urbana, al facilitar la evaluación técnica de alternativas y la toma de decisiones sustentadas.

Micro simulador de tráfico: SimTraffic 12 es un software de microsimulación de tráfico integrado al paquete Synchro Studio, orientado a modelar de forma dinámica el comportamiento individual de vehículos y peatones dentro de una red vial. Desde una perspectiva teórica, la microsimulación permite representar el flujo vehicular vehículo por vehículo, evaluando indicadores como colas, tiempos de viaje, demoras y consumo de combustible, así como analizar escenarios de control semafórico previamente optimizados (Cubic Transportation Systems, 2023). Asimismo, posibilita incorporar distintos tipos de vehículos, fases semafóricas coordinadas y variaciones en la demanda, lo que facilita la validación operativa de intersecciones y corredores urbanos mediante un enfoque más detallado y realista que los modelos macroscópicos tradicionales.

Software de apoyo (Microsoft Excel): El programa Microsoft Excel fue empleado para la sistematización, depuración y análisis estadístico de la información recopilada en campo. Mediante esta herramienta se procesaron aforos vehiculares, clasificaciones por tipo de vehículo, volúmenes horarios, porcentajes de participación modal y cuadros comparativos de resultados obtenidos en la simulación. Asimismo, permitió

la elaboración de tablas, gráficos y matrices de datos utilizadas en la interpretación de resultados.

Integración metodológica de las herramientas de uso informático. El empleo complementario de estas herramientas permitió desarrollar un proceso metodológico integral: Civil 3D para el diseño físico de la infraestructura, Synchro para la evaluación operacional de capacidad, VISSIM para la simulación dinámica del tránsito y Excel para el procesamiento cuantitativo de la información. En conjunto, el uso de software especializado fortaleció la validez técnica de la investigación y permitió sustentar objetivamente la propuesta de intercambio vial.

3.3 EVALUACIÓN TÉCNICA Y FACTIBILIDAD

3.3.1 Análisis de los niveles de intervención para el diseño geométrico vial

La propuesta del diseño geométrico vial interviene de manera directa y significativa en la eficiencia del flujo vehicular en el cruce de las avenidas Pizarro y Avenida Guardia Civil, en el Distrito de Paucarpata, al reorganizar espacial y funcionalmente los movimientos de tránsito mediante la optimización de radios de giro, ampliación y canalización de carriles, segregación de flujos conflictivos y adecuación de pendientes y peraltes conforme a criterios técnicos de diseño vial. Estas intervenciones permiten reducir los puntos de conflicto, minimizar las demoras promedio por vehículo, disminuir la longitud de colas y mejorar el nivel de servicio (LOS) de la intersección. Asimismo, el rediseño geométrico facilitará una circulación más continua y segura, especialmente para vehículos de transporte público y unidades de carga pesada que actualmente generan interferencias operativas. En consecuencia, la propuesta incide positivamente en la capacidad operativa de la intersección, incrementando la velocidad media de desplazamiento y reduciendo la congestión en horas punta, lo que se traduce en una mejora sustancial de la eficiencia del sistema vial urbano en la ciudad de Arequipa. Para determinar los niveles de intervención para el diseño geométrico vial, se realizaron trabajos de campo y de gabinete, tales como;

- levantamiento topográfico de precisión
- Conteo vehicular

Para la presente investigación se realizó el **levantamiento topográfico**; El objetivo del levantamiento topográfico es determinar la posición relativa de uno o más puntos sobre un plano horizontal, además de determinar las medidas de la calzada actual. Para tal efecto, se miden las distancias horizontales y las diferencias de altura; y también se trazan curvas de nivel, tomando los datos necesarios para representar gráficamente el relieve del terreno, así como la ubicación y forma del trazado e infraestructura existentes.

Figura 4

Ubicación de la intersección de la zona de estudio



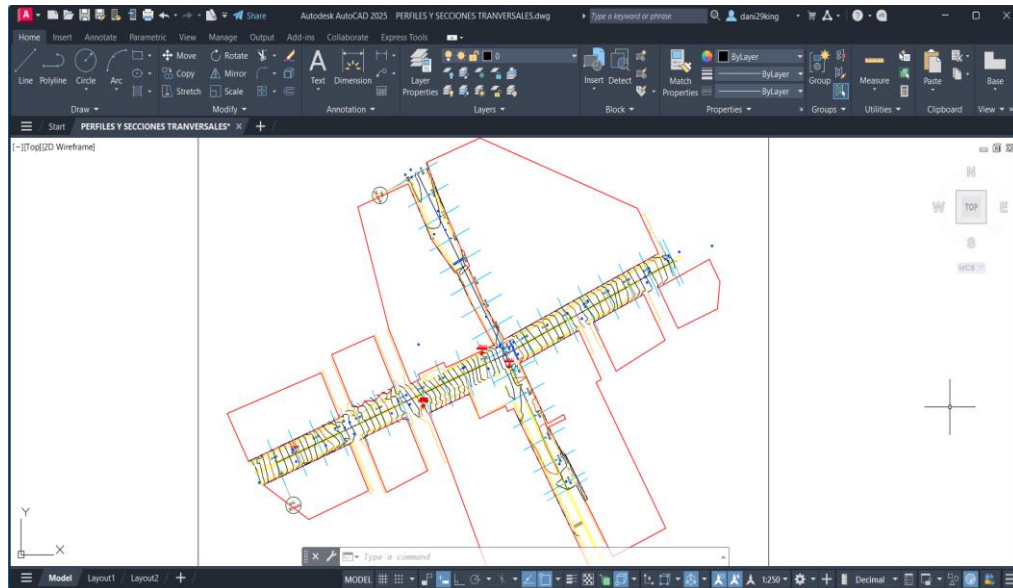
Nota: La imagen ubica con precisión el punto del control del levantamiento topográfico

Para la elaboración de los planos topográficos, se ha realizado el procesamiento de datos mediante el uso de ordenadores, empleando el software Autocad Civil 3D o Autocad Land. y/o aplicaciones con Autolisp.

El relieve (superficie) se ha representado gráficamente en planta mediante curvas de nivel equidistantes a 0.50 metros y en elevación mediante perfiles longitudinales y secciones transversales.

Figura 5

Procesamiento de datos, Generación de la superficie

**Figura 6**

Procesamiento de datos, Generación de la superficie



Nota: La imagen ubica la intersección objeto de estudio, levantamiento topográfico

El estudio de tráfico vehicular: tiene por objeto cuantificar el volumen vehicular y clasificar según tipo de vehículos, además de determinar la cantidad de vehículos en el sentido de ingreso a la intersección en conflicto, y en consecuencia, los de salida.

El volumen diario de los vehículos que transitan por las Avenidas Pizarro y Hartley, materia de estudio, se logra a través del conteo vehicular y el análisis de la demanda de transporte en general, todo en el contexto del sistema de transporte del ámbito de estudio, los mismo que constituyen elementos necesarios para determinar las características de diseño de la vía, para dar solución a los problemas identificados. El aforo vehicular se inició el 11-01-2026 y se concluyó el 17-01-2026 a nivel campo, el conteo y clasificación vehicular se realizó de acuerdo a lo señalado en Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2018) y el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Para esto se identificaron 04 estaciones principales y el criterio para la definición del número de estaciones fue el nivel de tráfico según la ramificación de las avenidas en estudio. El conteo fue durante 07 días continuos, las 16 horas del día, desde el día 11-01-2026 (06:00 – 22:00 horas) hasta el día 17-01-2026 (06:00 - 22:00 horas), de forma simultánea.

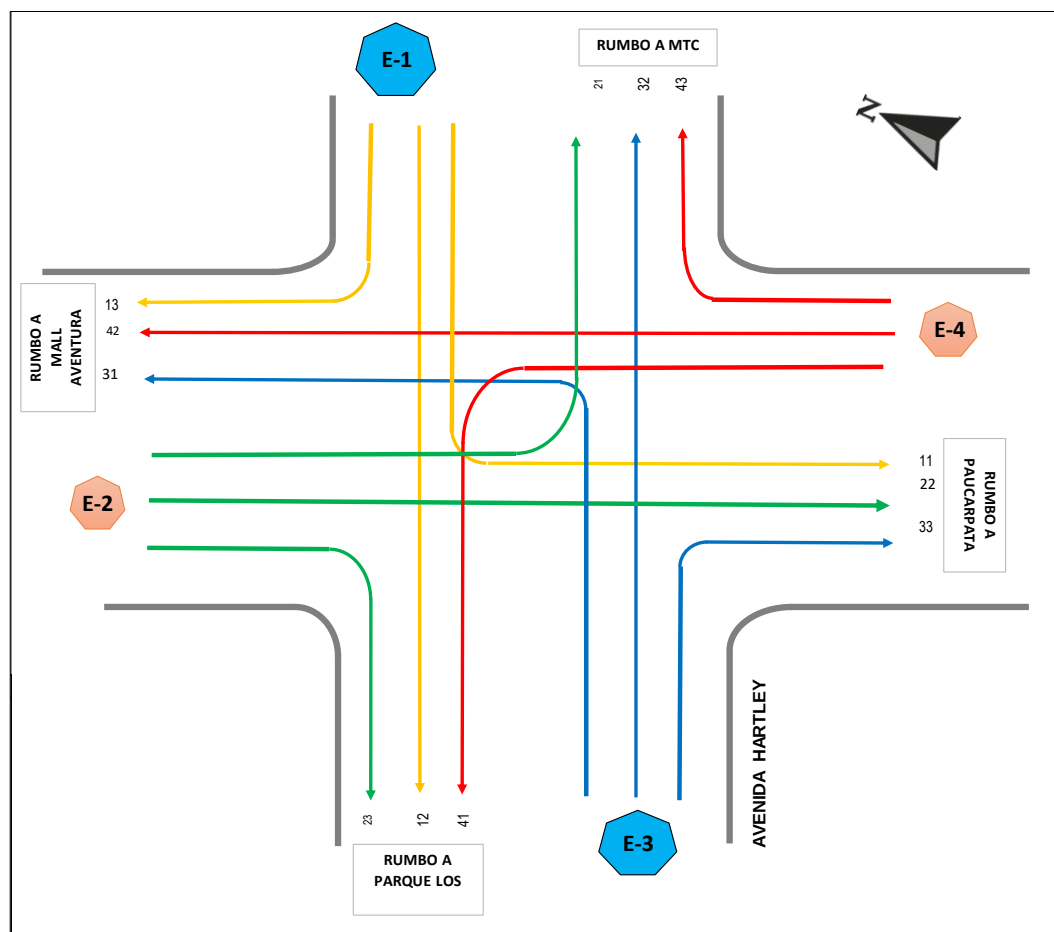
Una vez concluido el campo, se continuó, a nivel de gabinete, con el procesamiento de la información, obteniéndose los siguientes productos: (i) Factores de corrección para determinar el IMD Anual; (ii) Índice Medio Diario Anual (IMDA) para los tramos identificados; (iii) Tasas de crecimiento de la demanda de transporte, sobre la base de las variables macroeconómicas (PBI, PBI Per cápita y población); (iv) Proyección del IMD Anual para el período de evaluación.

Con el Estudio de Tráfico vehicular se tiene por objeto cuantificar y clasificar por Tipos de Vehículos, los volúmenes de vehículos que circulan por el tramo de las Avenidas, correspondiente a las estaciones establecidas en

la figura N°6, como también determinar la variación del tráfico en cada uno de los tramos establecidos que transitan por las vías. Como también determinar el IMD Anual, sobre la base de los resultados del conteo y el factor de corrección estacional. Finalmente establecer la composición del tráfico vehicular y proyectar el IMD Anual.

Figura 7

Flujograma de la intersección objeto de estudio



Nota: Distribución propia para el aforamiento vehicular.

La intervención en la intersección vial visiblemente presenta variedad de medidas la sección vial, tanto en la calzada y en las veredas, en algunos tramos son menores a lo indicado por los manuales de diseño, por lo tanto, es idóneo una propuesta de rediseño a nivel integral en la intersección vial.

3.3.2 Análisis de la Capacidad del intercambio vial

El análisis de la capacidad del intercambio vial propuesto para el cruce de las avenidas Pizarro y Avenida Guardia Civil, ubicado en el Distrito de Paucarpata, provincia de Arequipa, se fundamenta en la evaluación técnica de la relación entre la demanda vehicular proyectada y la capacidad operativa de la infraestructura diseñada existente. Para ello, se parte del levantamiento de volúmenes vehiculares actuales y su proyección mediante tasas de crecimiento del parque automotor y expansión urbana, determinando el volumen horario de máxima demanda. Posteriormente, se calcula la capacidad teórica del intercambio vial considerando su configuración geométrica propuesta número de carriles, carriles de incorporación y salida, radios de giro, pendientes y segregación de flujos aplicando criterios del Highway Capacity Manual (HCM) y lineamientos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

El análisis se centra en indicadores como la relación volumen/capacidad (v/c), nivel de servicio, demora promedio y longitud de colas, comparando los escenarios “sin proyecto” y “con proyecto”. De esta manera, se determina si la infraestructura propuesta absorbe adecuadamente la demanda futura, reduce el grado de saturación y mejora la eficiencia del sistema vial urbano. En síntesis, el análisis de capacidad permite validar que el intercambio vial constituye una solución técnicamente viable para optimizar la operatividad del nodo Pizarro, Guardia Civil y Hartley, contribuyendo a una circulación más fluida y segura en el ámbito urbano.

3.3.3 Diseño de elementos de seguridad vial

En el ámbito de diseño de elementos de seguridad vial en la intersección de las avenidas Pizarro, Hartley y Avenida Guardia Civil, en el Distrito de Paucarpata y José Luis Bustamante y Rivero, se sustenta en los principios de ingeniería de tránsito orientados a la reducción de conflictos, control de velocidades y protección de usuarios vulnerables. Desde el enfoque de diseño vial, la seguridad se integra como componente estructural del sistema,

considerando la jerarquización de la vía, la velocidad de diseño, los volúmenes proyectados y la interacción entre flujos vehiculares y peatonales. En este sentido, la propuesta contempla la implementación técnica de señalización vertical reglamentaria, preventiva e informativa, señalización horizontal normalizada, dispositivos de canalización, demarcación de cruces tipo cebra, adecuación de radios de giro y mejora de distancias de visibilidad, conforme a los lineamientos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Desde la perspectiva de evaluación técnica, la factibilidad del diseño se determina verificando la coherencia entre el rediseño geométrico y los dispositivos de control del tránsito, asegurando que la infraestructura propuesta reduzca puntos de conflicto, optimice la lectura vial y mantenga condiciones adecuadas de nivel de servicio. Asimismo, se evalúo la compatibilidad del diseño con la capacidad proyectada del intercambio vial, garantizando que las medidas de seguridad no generen restricciones operativas, sino que contribuyan a una circulación más ordenada y predecible. En términos de sostenibilidad urbana, la incorporación de elementos de seguridad vial fortalece la movilidad segura, promueve la accesibilidad universal y contribuye a la disminución del riesgo de siniestralidad, consolidando la viabilidad técnica y funcional de la propuesta dentro del sistema vial urbano de la ciudad de Arequipa.

Factibilidad integral del proyecto

La factibilidad del intercambio vial propuesto para la intersección conformada por las avenidas Pizarro, Hartley y Guardia Civil fue evaluada de manera integral considerando criterios técnicos, operativos, constructivos, económicos y ambientales, con la finalidad de determinar la viabilidad real de su implementación dentro del sistema vial urbano de la ciudad de Arequipa.

a) Factibilidad técnica

Desde el punto de vista técnico, la propuesta resulta viable al verificarse que la configuración geométrica planteada cumple con criterios de diseño vial relacionados con radios mínimos de giro, pendientes longitudinales, continuidad de carriles, visibilidad de parada y capacidad operativa, conforme al Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Asimismo, el espacio disponible en el área de intervención permite desarrollar una solución a desnivel con adecuaciones razonables de accesos y vías auxiliares. En cuanto a condiciones del terreno, la zona urbana presenta características favorables para la ejecución de estructuras de concreto armado o puentes modulares, sujetas a la validación definitiva mediante estudio geotécnico específico en etapa de expediente técnico.

b) Factibilidad operativa

Desde el punto de vista operacional, la propuesta resulta compatible con la demanda actual y futura del tránsito vehicular, debido a que su configuración geométrica mejora sustancialmente el funcionamiento de la intersección al incrementar la capacidad de circulación, ordenar los movimientos vehiculares y reducir los conflictos generados por cruces directos y giros simultáneos. La separación de flujos principales y secundarios permite una circulación más continua, disminuyendo interrupciones y tiempos de espera en horas de mayor congestión. Los resultados obtenidos mediante la simulación del tránsito evidencian una reducción significativa de demoras promedio por vehículo, menor formación de colas y una mejora del nivel de servicio respecto a la situación actual, lo que confirma la eficiencia operativa de la solución planteada. Asimismo, la infraestructura propuesta posee condiciones para absorber el crecimiento proyectado de la demanda vehicular dentro de un horizonte de diseño de veinte años, siempre que se implementen programas de mantenimiento periódico, conservación de la señalización y una

adecuada gestión del tránsito orientada a preservar su desempeño funcional en el tiempo.

c) Factibilidad constructiva

Desde el enfoque constructivo, el proyecto puede ejecutarse por etapas sucesivas, permitiendo mantener la circulación parcial durante la obra y reduciendo impactos severos sobre la movilidad urbana. Las fases recomendadas comprenden: obras provisionales, desvíos temporales, movimiento de tierras, cimentaciones, estructura principal, pavimentación, señalización y puesta en operación. La ejecución por etapas disminuye riesgos operativos y facilita el control técnico, financiero y logístico del proyecto.

d) Factibilidad económica

Preliminarmente, la inversión requerida para la ejecución del proyecto se justifica por los beneficios directos e indirectos que generaría en el sistema de movilidad urbana, especialmente en el ahorro de tiempo de viaje para los usuarios, la reducción del consumo de combustible ocasionado por detenciones prolongadas y circulación a baja velocidad, el menor desgaste mecánico de los vehículos y la disminución de costos asociados a la congestión, tales como retrasos operativos, pérdida de horas-hombre y sobre costos logísticos. Asimismo, una circulación más fluida contribuye a mejorar la eficiencia del transporte público y privado, optimizando los desplazamientos diarios de personas y mercancías. En términos socioeconómicos, la mejora de la infraestructura vial incrementa la productividad urbana, fortalece la conectividad entre sectores estratégicos de la ciudad y mejora la accesibilidad territorial hacia zonas comerciales, residenciales e institucionales. De igual manera, puede generar efectos positivos sobre la competitividad local y la valorización del entorno urbano. Por ello, se recomienda que en la etapa definitiva del proyecto se desarrolle un análisis beneficio/costo y una evaluación económica integral, a fin de

determinar con mayor precisión la rentabilidad social de la inversión propuesta.

e) Factibilidad ambiental

Los impactos ambientales previsibles corresponden principalmente a emisiones de polvo, ruido temporal y alteraciones operativas durante la construcción. Sin embargo, una vez en funcionamiento, el intercambio vial contribuiría a reducir tiempos de ralentí, congestión prolongada y emisiones vehiculares por detención continua. Por ello, ambientalmente el proyecto resulta favorable siempre que se implementen medidas de mitigación durante la ejecución de obras.

f) Factibilidad institucional y de gestión

El proyecto es compatible con las competencias de los gobiernos locales, el Gobierno Regional de Arequipa y las entidades del sector transporte, lo que fortalece su viabilidad institucional para una futura ejecución. Las municipalidades pueden intervenir en gestión vial urbana y ordenamiento del tránsito, mientras que el gobierno regional puede apoyar en planificación e infraestructura de impacto metropolitano. Asimismo, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones puede participar mediante asistencia técnica o cofinanciamiento. En ese marco, la obra podría ejecutarse mediante inversión pública, Obras por Impuestos, convenios interinstitucionales u otros mecanismos de cooperación, facilitando su implementación y financiamiento.

3.4 PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN

3.4.1 Cronograma

El cronograma de ejecución se concatena con el cronograma establecido por la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, la que considera cuatro fases o etapas de desarrollo, siendo éstas:

Primera fase: Inscripción de tema de tesis/trabajo de investigación y asignación del asesor.

Segunda fase: Desarrollo del proyecto.

Tercera fase: Desarrollo de la tesis y ratificación del asesor.
Cuarta fase: sustentación.

El cronograma de formulación de la presente tesis de investigación tomo como inicio el mes de enero de 2026 en la fase 2 de desarrollo y ejecución, el cual acumulado toma un total tres meses.

Tabla 1
Cronograma de desarrollo de la fase 2, y ejecución de la investigación

N.º	Descripción	Cronograma en meses											
		Ene-26				Feb. 2026				Mar-26			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
FASE 2: DESARROLLO Y EJECUCIÓN													
1	E1: Planificación y revisión de material existente												
2	E2: Levantamiento y procesado de información												
3	E3: Modelado y simulación												
4	E4: Diseño y plan de Diseño												
5	E5: Simulación y validación												
FASE 3: EVALUACIÓN Y DICTAMEN DE LA INVESTIGACIÓN													
FASE 4: SUSTENTACIÓN Y APROBACIÓN FINAL													

3.4.2 Asignación de recursos

El financiamiento de la tesis de grado maestría es realizado por el tesista, todos los recursos, se consideran tanto los recursos humanos, materiales y tecnológicos, como los costos operativos requeridos para el desarrollo del proyecto. Los montos son referenciales y expresados en soles (S/), considerando el contexto académico y los recursos disponibles en la institución.

3.4.3 Costos y financiamiento

En relación con los costos y financiamiento, la presente tesis de posgrado es asumida íntegramente por el tesista, quien financia los gastos derivados del

proceso de investigación. Estos costos comprenden, entre otros, la adquisición de materiales bibliográficos, impresión y reproducción de instrumentos, trabajo de campo, movilidad para el levantamiento de información, procesamiento de datos, elaboración y entrega del final, así como cualquier otro gasto administrativo requerido por la institución académica. El financiamiento propio garantiza la autonomía en el desarrollo del estudio y la adecuada ejecución de las actividades programadas, sin depender de recursos externos. Asimismo, el tesista asume la responsabilidad de administrar de manera eficiente los recursos económicos, asegurando la viabilidad y culminación oportuna del proyecto de investigación.

Tabla 2

Presupuesto de ejecución de la tesis de posgrado

Categoría	Unid	Cant.	Costo unitario	Costo parcial	Costo total
Recursos humanos					5,500.00
Tesista	Glb	1	3000	3000	
Asistente Analista de datos.	Glb	1	2500	2500	
Trabajo de campo					2,800.00
Levantamiento de datos (aforos, encuestas, medición de velocidades, movilidad).	Glb	1	2800	2800	
Equipos y materiales					1,200.00
Alquiler de equipos varios (estación total, GPS).	Glb	1	1200	1200	
Software especializado					0.00
Licencias de uso académico o de uso libre de VISSIM y SINCRO TRAFIC.	Glb	1	0	0	
Procesamiento y simulación					0.00
Computador personal (almacenamiento, otros usos)	Glb	1	0	0	
Gastos administrativos					500.00
Gastos varios, materiales de oficina	Gbl	1	500	500	
Difusión y presentación final					300.00
Borrador de tesis. Costo de sustentación Informe final	Gbl.	1	300	300	
Total, estimado					10,300.00

Nota: El financiamiento es propio del tesista.

* Los Software utilizados en la presente tesis no requieren de licencia debido que son de uso académico.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DESARROLLO DEL PROYECTO Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO

El desarrollo del proyecto se realiza por objetivo específico, teniendo en cuenta que en la tesis o trabajo de investigación priman los resultados secuenciales considerando que los resultados del objetivo uno alimenta el desarrollo y resultados del objetivo dos y por consiguiente de los demás objetivos

Además, el proyecto de intercambio vial para la intersección entre las avenidas Pizarro, Guardia Civil y Hartley, ubicada en el distrito de Paucarpata, Arequipa, la solución fue planteada a partir del diagnóstico de congestión existente, los resultados del levantamiento topográfico, los aforos vehiculares, el análisis operacional y la proyección futura de la demanda de tránsito. La propuesta incorpora un sistema de circulación a desnivel para el movimiento principal, complementado con carriles auxiliares de incorporación y salida, reordenamiento de giros secundarios, adecuación geométrica de accesos y dispositivos de seguridad vial. El diseño fue desarrollado conforme a criterios técnicos establecidos en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. A continuación, se realiza el desarrollo por cada objetivo específico planteado para la presente investigación.

4.1.1 Desarrollo y validación del objetivo específico 1

4.1.1.1 desarrollo

Para determinar el nivel de intervención de la propuesta del diseño geométrico vial en la eficiencia del flujo vehicular en el cruce de las avenidas Pizarro, Hartley y Avenida Guardia Civil, ubicado en el límite del distrito de Paucarpata con el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, provincia de

Arequipa, se desarrolló un análisis técnico, en la presente investigación se ha realizado recopilación de información en campo, los que expongo;

i) Estudio topográfico

Por tanto, los resultados obtenidos en el levantamiento topográfico fueron procesados con la finalidad de determinar las secciones actuales de la vía. Para el levantamiento topográfico del área de estudio se han establecido puntos de referencia (control) en el área de trabajo.

Tabla 3

Coordenadas de la Poligonal Básica (Datum WGS-84)

CUADRO DE BMs				
Punto	Norte	Este	Cota	Descripción
1	8182296.4008	231434.6416	2377.89	BM-A1
2	8182264.5428	231359.4220	2374.17	BM-A2
3	8182306.9849	231410.6966	2377.14	BM-A3
4	8182340.6141	231500.6395	2378.27	BM-A4

En el presente estudio se ha realizado el levantamiento topográfico con instrumento electro-ópticos (Estación Total). Para ello previamente se orienta el instrumento, a partir de dos puntos con coordenadas UTM y cotas absolutas conocidas, siendo uno de ellos el punto de estación topográfica, desde donde por radiación se toma datos de todo elemento de infraestructura existente en el área de estudio. Así mismo se realizó el apoyo con un dron, con el objetivo de tener mayor cobertura y visibilidad de la parte superior, esto fue un gran apoyo para crear la ortofoto con las coordenadas de la intersección en estudio, para finalmente hacer el nuevo trazo.

Concluidos los cálculos y/o exportación de datos, se obtiene información de dimensiones lineales, de área y posicionamiento espacial, datos que luego de ser transferidos a un ordenador permiten elaborar los planos empleando el software Autocad Civil 3D con el apoyo de aplicaciones

como Autolisp que nos permite obtener el plano topográfico, que muestro a continuación.

Figura 8

Planimetría del área de intervención

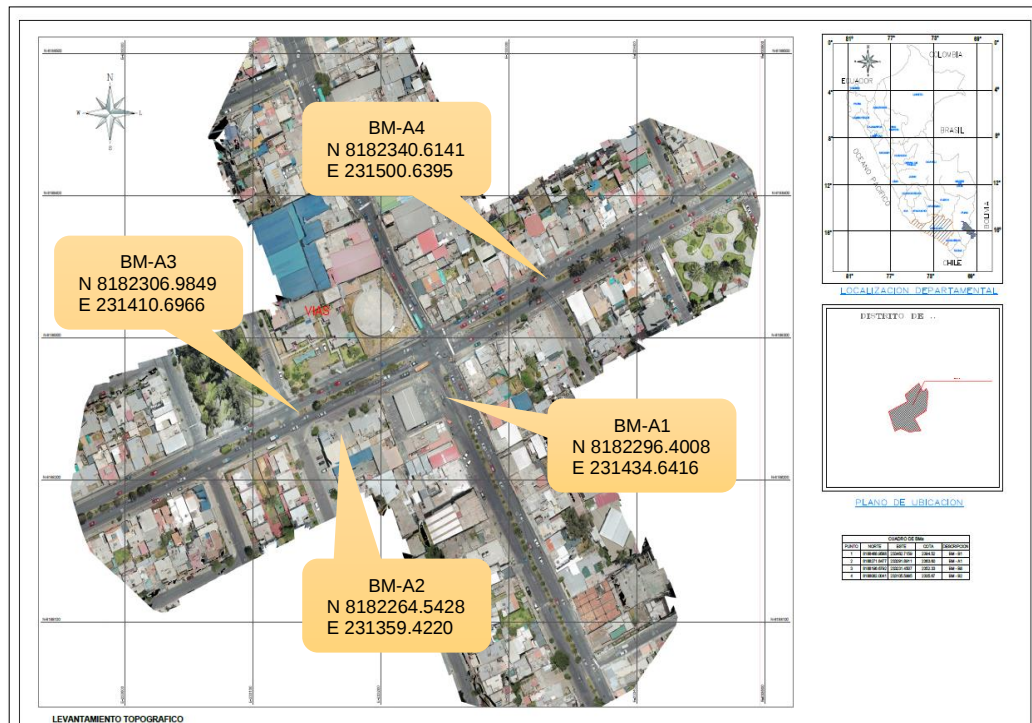


Figura 9

Perfil longitudinal

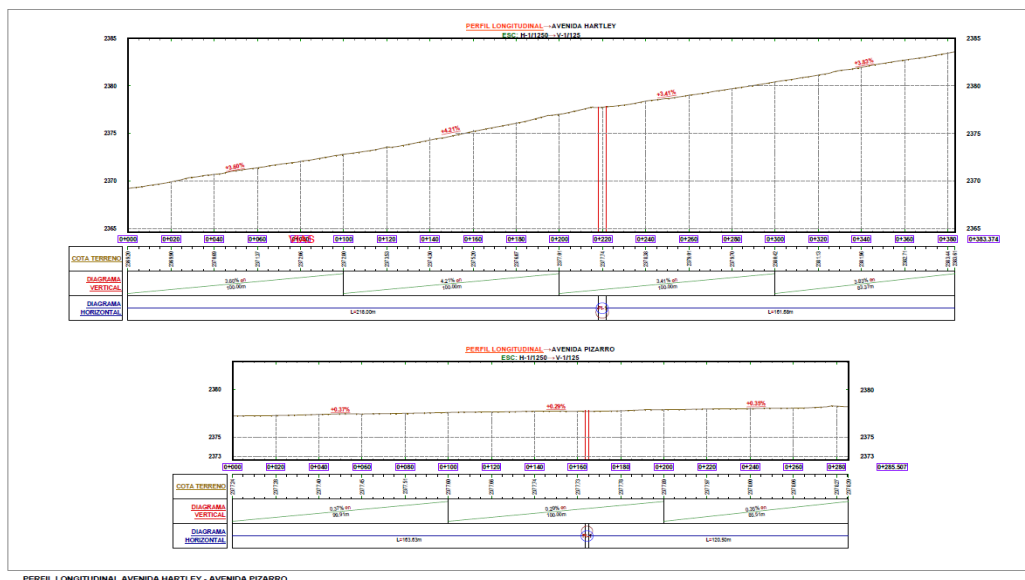
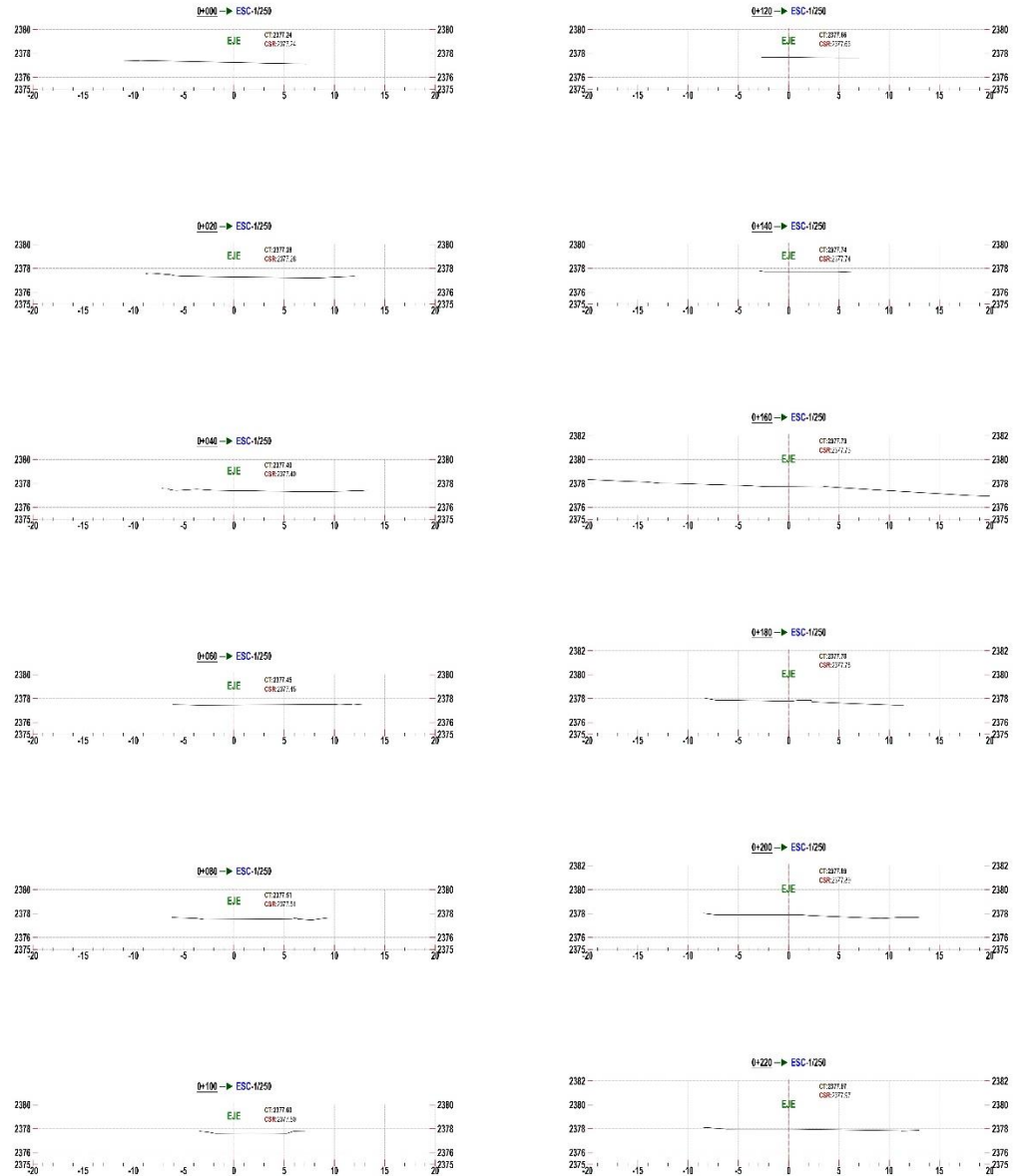


Figura 10*Secciones transversales*

Figura 11*Secciones transversales***ii) Análisis de vehicular**

Para el análisis vehicular en el punto de estudio se realizó el conteo vehicular de acuerdo a los lineamientos del manual de carreteras, diseño geométrico. Para esto tomamos en consideración que el tráfico se define como el desplazamiento de bienes y/o personas en los medios de transporte; mientras

que el tránsito viene a ser el desplazamiento de vehículos y/o personas de un punto llamado origen y otro destino.

El desarrollo del estudio vial se realizó en tres etapas claramente definidas en:

- Trabajo de Campo
- Análisis de la información y obtención de resultados

Trabajo de campo

Antes de realizar el trabajo de campo y con el propósito de identificar y precisar in situ las estaciones predeterminadas, se realizó el reconocimiento de toda el área de estudio; para luego definir y ubicar los puntos estratégicos para la ubicación de las estaciones necesarias para la aplicación del conteo de vehículos.

Se ubicaron cuatro equipos de conteo en simultaneo los cuales se establecieron en función al nivel de tráfico y según turnos, a fin de que permita una adecuada rotación y el cumplimiento de las actividades de control en el conteo vehicular. Para el registro del conteo vehicular por su clasificación se utilizó el formato llamado Anexo 2 - Formato de Conteo y Clasificación Vehicular, regulado por el ministerio de transportes y comunicaciones, esta actividad de campo se realizó durante los 7 días consecutivos como se encuentra regulado.

Análisis de la Información y Obtención de Resultados

Los conteos de tráfico obtenidos en campo, realizado de acuerdo al formato del MTC han sido procesados en formatos de resumen, por horas y por día, según el sentido vehicular para la determinación del IMD. En el sistema se tiene dos afluyentes de ingreso y salida, por tanto, se tiene dos resultados de IMD. La información básica para la elaboración del estudio surge de una fuente primaria.

La fuente primaria corresponde al levantamiento de información de campo, e incluye la información obtenida del conteo de tráfico por día durante

una semana. Para cumplir con esta actividad, se llevó a cabo un trabajo previo de gabinete para la preparación de los instrumentos y la planificación del trabajo de campo con el fin de reconocer las vías de acceso, tanto de entrada como de salida, a lo largo de las Avenidas, para identificar la ubicación de las estaciones de control de tráfico. Estas estaciones se detallan a continuación:

Tabla 4

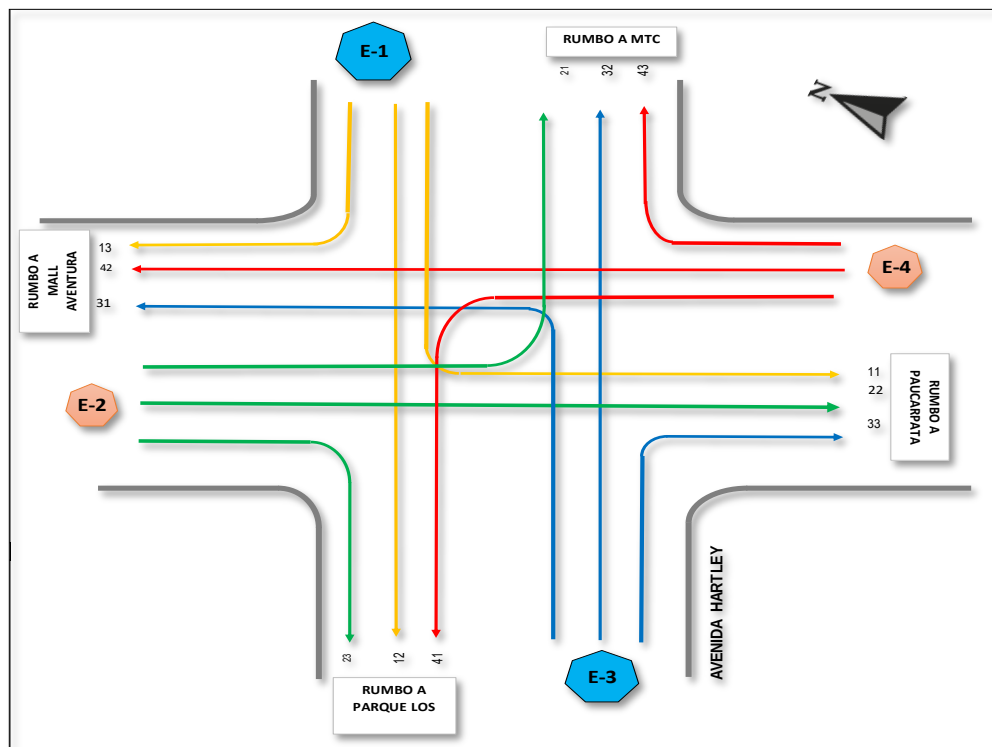
Código de las estaciones de control.

Código	Ubicación
E 1	Rumbo a MTC
E 2	Rumbo a Mall Aventura
E 3	Rumbo a Paucarpata
E 4	Rumbo a Parque Los Coritos

Nota: La ubicación de las estaciones se sitúan respecto a los lugares referenciales

Figura 12

Flujograma del conteo vehicular



En el flujograma se evidencia que la intersección en estudio es tipo cruz, donde dos vías se intersecan perpendicularmente formando cuatro accesos o aproximaciones independientes que permiten movimientos de circulación directa, giros a la derecha y giros a la izquierda desde cada una de sus ramas. Su representación geométrica semeja el signo (+), razón por la cual recibe dicha denominación. Desde el punto de vista operacional, la intersección en cruz concentra múltiples puntos de conflicto vehicular y peatonal, especialmente cuando se incrementan los volúmenes de tránsito o coinciden movimientos simultáneos en horas punta. Entre los principales conflictos destacan los cruces directos entre corrientes vehiculares, interferencias por giros a la izquierda. Por lo tanto, se determinó el aforamiento en sentido vertical (E3 – E1) de la avenida Hartley a la avenida Guardia Civil, en sentido horizontal (E4 - E2) en la avenida Pizarro en ambos sentidos, bajo este análisis se obtuvo dos valores de IMDa para un diseño óptimo de la intersección vial.

Metodología Para Hallar El Promedio Diario Anual (IMD)

Para la determinación del Índice Medio Diario Anual, producto final del estudio de tráfico, es necesario contar con información primaria, que son los aforos vehiculares en la carretera en estudio, para luego efectuar trabajos de gabinete y llevar a cabo el análisis de los resultados obtenidos, por tanto, como requisito mínimo para la elaboración del estudio se llevan a cabo las siguientes actividades:

- Recopilación de la información en campo (aforos vehiculares).
- Procesamiento de la información obtenida en campo.
- Identificación de tramos homogéneos.

Recopilación de información de campo, a través de los aforos o conteos vehiculares, requeridos en los términos de referencia, en este caso para las Avenidas Pizarro y Hartley. Antes de iniciar los aforos vehiculares en campo y con el propósito de identificar y precisar in situ, las estaciones necesarias para la aplicación del conteo, se realizó el reconocimiento de los

tramos viales materia del presente estudio. Las estaciones se definieron considerando la intersección existente, el flujo de tráfico vehicular, así como las condiciones físicas y facilidades que permitan realizar adecuadamente el levantamiento de información.

El conteo volumétrico (aforo vehicular) se realizó en 04 estaciones principales. El levantamiento de información o aforo vehicular se llevó a cabo desde el 10 al 16 enero del 2026, desde las 06:00 hasta las 22:00 horas y en forma simultánea en todas las estaciones. Los sentidos de tránsito se tomaron tal cual la Figura N°12 - flujograma del conteo vehicular.

Procesamiento de Información obtenida en campo.

Esta actividad corresponde íntegramente al trabajo de gabinete. La información de los conteos de tráfico obtenidos en campo son procesados en formatos Excel, donde se registran todos los vehículos por hora y día, por sentido (según la Figura N°12) y por tipo de vehículo.

La información obtenida de los conteos tiene por objeto conocer los volúmenes de tráfico que soporta Los tramos viales, así como la composición vehicular y variación diaria y horaria.

Determinación del IMD Anual. Para la determinación del Índice Medio Diario Anual (IMD), producto final del estudio de tráfico, es necesario contar con información primaria, que son los aforos vehiculares en las Avenidas en estudio. Para después, aplicar la siguiente formula:

$$IMDA = \frac{(VDL\ 1 + VDL2 + VDL3 + VDL4 + VDL5 + VDSAB + VDDOM)}{7} \times F.C.M.$$

Dónde:

- VDL1, VDL2, VDL3, VDL4 y VDL5 ... Volumen clasificado promedio de la semana
- VDSAB Volumen de tráfico registrado sábado

- VDDOM Volumen de tráfico registrado domingo
- FCMFactor de corrección según el mes que se efectuó el aforo.
- IMD Anual Índice Medio Diario Anual

Resultados Del Conteo Vehicular

Luego de consolidar y procesar la información obtenida del conteo en las estaciones, se analizó los resultados de los volúmenes de tráfico por tipo de vehículo y sentido.

Estaciones E1 y E3

a) Conteo y Clasificación Vehicular por Día

En las estaciones (E-3 y E-1) ubicada en Km 0 + 180 y Km 0 + 240 respectivamente, en la Avenida Hartley, se realizó el conteo vehicular durante 7 días (del 10 al 16 de enero del 2026), obteniéndose sobre la base del aforo vehicular: el volumen de vehículos, clasificación diaria por sentido (tal como se mostró en la FIGURA N°13). Ver Tabla N°05.

b) Tráfico Vehicular Promedio Diario de la semana de conteo

El promedio diario del tráfico vehicular de la semana se obtuvo aplicando la fórmula indicada en la metodología descrita, sin el factor de corrección, solo el promedio semanal. En la figura N°13, se presenta el tráfico semanal de los sentidos de mostrados en la tabla N°5, cuyo promedio es de 27,772 vehículos por día de la semana de conteo.

Figura 13

Resultados del Conteo Vehicular por día estaciones E1 Y E3: Av. Hartley (Km. 0+180 – Km. 0+240)

Día		Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Omnibus			Camion			Semitraylers						Traylers			
				Pick Up	Panel	Rural		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
Domingo	AV. PIZARRO	10171	118	141	108	106	437	84	27	3	31	65	16	56	8	3	4	2	6	7	18	16	13
	AV. HARTLEY	10962	135	188	116	74	1710	96	13	7	29	19	24	40	6	1	7	6	9	5	13	11	9
Lunes	AV. PIZARRO	12527	143	313	165	284	538	154	47	4	21	87	11	56	9	7	9	4	7	13	7	19	8
	AV. HARTLEY	11254	164	281	198	86	1764	62	18	7	13	38	23	40	5	6	8	7	3	9	9	9	5
Martes	AV. PIZARRO	12081	161	231	186	293	521	131	33	8	28	55	6	56	8	4	6	9	5	17	13	29	17
	AV. HARTLEY	11483	182	251	234	94	1832	89	29	6	11	23	17	40	9	9	9	6	2	4	6	22	21
Miercoles	AV. PIZARRO	12821	163	163	179	262	564	96	28	8	16	72	7	56	10	7	4	11	7	9	24	23	13
	AV. HARTLEY	11935	124	241	241	134	1698	122	27	3	19	29	19	40	6	9	13	5	4	4	7	13	11
Jueves	AV. PIZARRO	12011	134	186	188	259	533	126	43	4	29	66	9	56	5	9	8	13	3	16	22	17	19
	AV. HARTLEY	12186	128	216	231	107	1796	99	31	9	17	31	8	40	7	2	11	7	7	14	14	9	8
Viernes	AV. PIZARRO	12214	134	193	168	266	572	111	38	4	28	76	15	56	6	10	9	14	9	8	16	14	7
	AV. HARTLEY	11319	155	222	245	84	1802	83	27	8	23	38	7	40	8	7	8	6	7	11	25	13	18
Sábado	AV. PIZARRO	12151	101	168	135	278	567	98	37	9	25	92	18	56	11	9	11	8	11	19	28	16	13
	AV. HARTLEY	10238	124	182	281	91	1608	78	14	7	11	31	8	40	7	4	13	2	8	4	19	22	8
TOTAL AV. PIZZARRO		11996.57	136.29	199.29	161.29	249.71	533.14	114.29	36.14	5.71	25.43	73.29	11.71	56.00	8.14	7.00	7.29	8.71	6.86	12.71	18.29	19.14	12.86
TOTAL AV. HARTLEY		11339.57	144.57	225.86	220.86	95.71	1744.29	89.86	22.71	6.71	17.57	29.86	15.14	40.00	6.86	5.43	9.86	5.57	5.71	7.29	13.29	14.14	11.43
TOTAL PROMEDIO VEHICULOS/DIA		23336.14	280.86	425.14	382.14	345.43	2277.43	204.14	58.86	12.43	43.00	103.14	26.86	96.00	15.00	12.43	17.14	14.29	12.57	20.00	31.57	33.29	24.29

Tabla 5

*Tráfico Vehicular Promedio Diario Semanal Estaciones E1 Y E3: Av. Hartley
(Km. 0+180 – Km. 0+240)*

Tráfico vehicular promedio semanal (Veh/día)		
Tipo de vehículo	IMD	Distribución %
Automóvil	23336	84.03
S. Wagon	281	1.01
Pick up	425	1.53
Panel	382	1.38
Rural	345	1.24
Micro	2277	8.20
2E	204	0.74
3E	59	0.21
4E	12	0.04
2E	43	0.15
3E	103	0.37
4E	27	0.10
2S1	96	0.35
2S2	15	0.05
2S3	12	0.04
3S1	17	0.06
3S2	14	0.05
>=3S3	13	0.05
2T2	20	0.07
2T3	32	0.11
3T2	33	0.12
>=3S3	24	0.09
Total, IMD	27772	100%

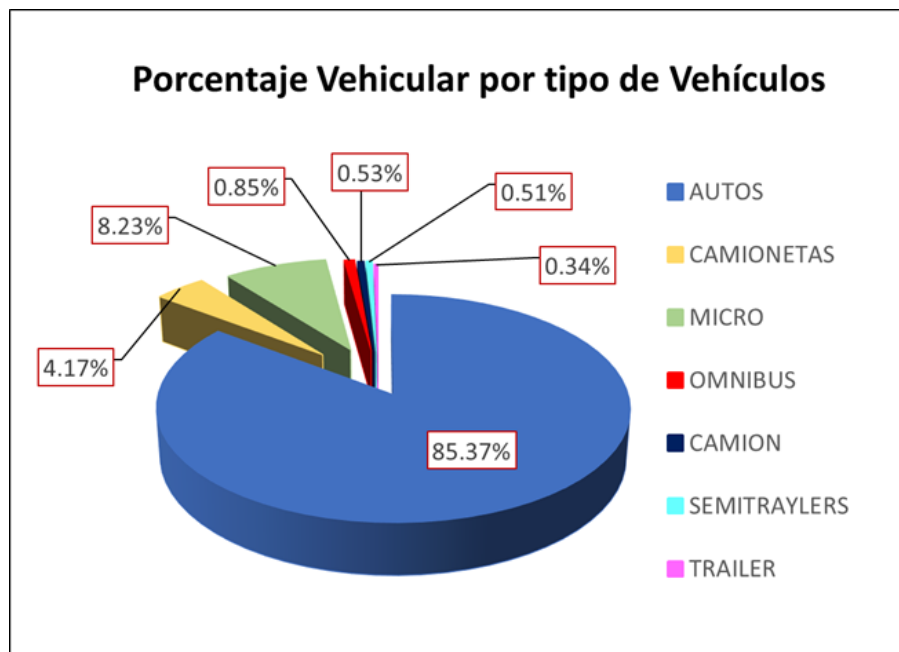
c) Índice Medio Diario Anual (IMDA): E-1 y E-3

El índice medio anual (IMDA) determinado multiplicando el promedio del tráfico semanal por el factor de corrección (tabla N° 6), es de 31068 de los cuales los vehículos ligeros (autos, station wagon, pick up, camionetas rurales, micros) representan el 97.77 %, y los vehículos pesados ómnibus con el 0.85%, camiones de 02, 03 y 04 ejes el 0.53%, semitrailers y trailers con 0.85%. Figura N°14 y Figura N°15.

Tabla 6

Índice Medio Diario Anual (IMDA) Estaciones E1 Y E3: Av. Hartley (Km. 0+180 – Km. 0+240)

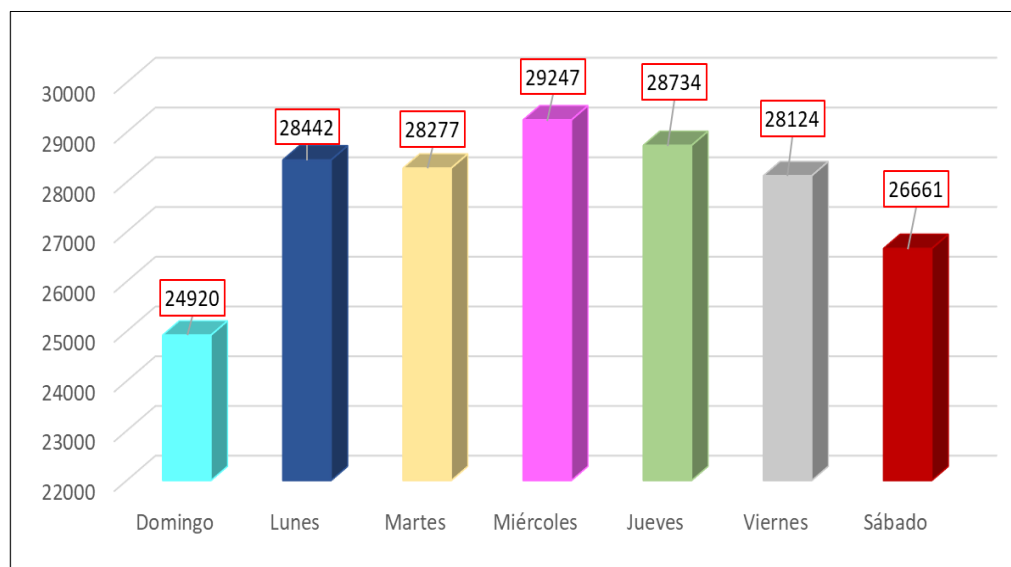
Tráfico vehicular promedio semanal (Veh/día)		
Tipo de vehículo	IMD	Distribución %
Automóvil	26208	84.36
S. Wagon	315	1.02
Pick up	477	1.54
Panel	429	1.38
Rural	388	1.25
Micro	2558	8.23
2E	195	0.63
3E	56	0.18
4E	12	0.04
2E	41	0.13
3E	98	0.32
4E	26	0.08
2S1	92	0.30
2S2	14	0.05
2S3	12	0.04
3S1	16	0.05
3S2	14	0.04
>=3S3	12	0.04
2T2	19	0.06
2T3	30	0.10
3T2	32	0.10
>=3S3	23	0.07
Total, IMD	31068	100%

Figura 14*Composición del Tráfico***d) Variación Horaria**

El flujo vehicular es variable en función a la hora. En el aforamiento se determinó que las horas en las que se hace mayor demanda de la intersección de la av. guardia civil, av. Pizarro y av. Hartley, son en los rangos horarios de 7:30am hasta las 10:00am, por la tarde tiene un aumento de flujo desde las 16:00 horas hasta 21:00 horas.

e) Variación Diaria

El mayor volumen de tráfico por día en este tramo, se presenta el día miércoles con 29247 vehículos. El día de menor volumen de tráfico es el domingo con 24920 vehículos. Estos resultados se muestran en la figura N°15.

Figura 15*Variación diaria de vehículos***Estaciones E2 y E4****a) Conteo y Clasificación Vehicular por Día**

En las estaciones (E-2 y E-4) ubicada en Km 0 + 140 y Km 0 + 200 respectivamente, en la Avenida Hartley, se realizó el conteo vehicular durante 7 días (del 10 al 16 de enero del 2026), obteniéndose sobre la base del aforo vehicular: el volumen de vehículos, clasificación diaria por sentido (tal como se mostró en la Figura N°16). Ver tabla N°7.

b) Tráfico Vehicular Promedio Diario de la semana de conteo

El promedio diario del tráfico vehicular de la semana se obtuvo aplicando la fórmula indicada en la metodología descrita, sin el factor de corrección, solo el promedio semanal. En la Figura N°16, se presenta el tráfico semanal de los sentidos de mostrados en la Tabla N°7, cuyo promedio es de 13,246 vehículos por día de la semana de conteo.

Tabla 7

Tráfico Vehicular Promedio Diario Semanal Estaciones E2 y E4: Av. Pizarro

(Km. 0+140 – Km. 0+200).

Tráfico vehicular promedio semanal (Veh/día)		
Tipo de vehículo	IMD	Distribución %
Automóvil	9052	68.34
S. Wagon	246	1.86
Pick up	626	4.73
Panel	306	2.31
Rural	307	2.32
Micro	685	5.17
2E	1873	14.14
3E	66	0.50
4E	6	0.05
2E	60	0.45
3E	15	0.12
4E	3	0.02
2S1	0	0.00
2S2	0	0.00
2S3	0	0.00
3S1	0	0.00
3S2	0	0.00
>=3S3	0	0.00
2T2	0	0.00
2T3	0	0.00
3T2	0	0.00
>=3S3	0	0.00
Total, IMD	13246	100%

c) **Índice Medio Diario Anual (IMDA): E-2 y E-4**

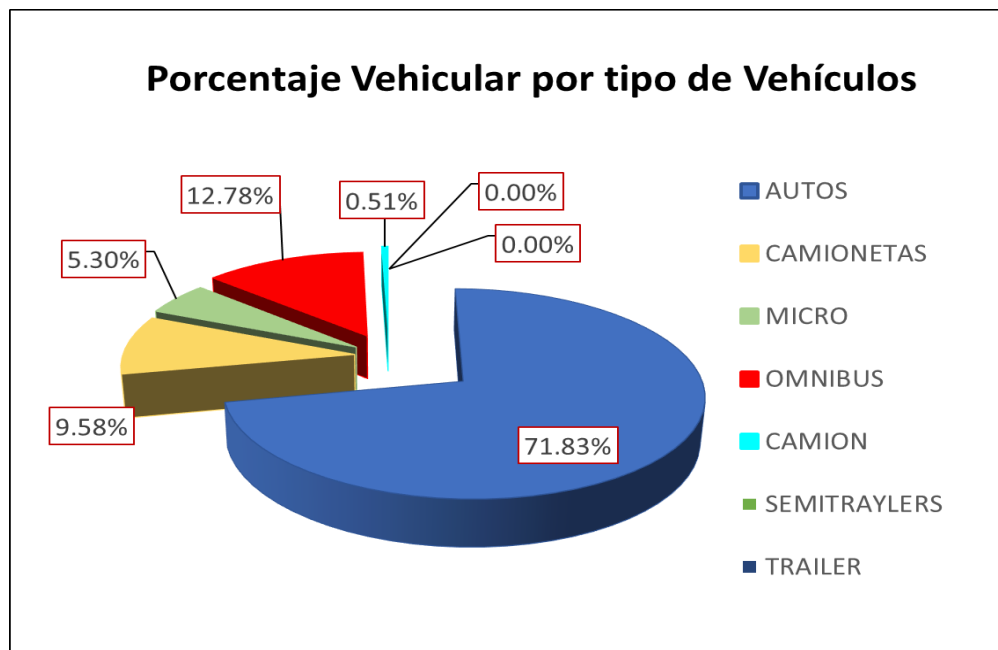
El índice medio anual (IMDA) determinado multiplicando el promedio

del tráfico semanal por el factor de corrección (Tabla N°8), es de 14,536 de los cuales los vehículos ligeros (autos, station wagon, pick up, camionetas rurales, micros) representan el 86.71 %, y los vehículos pesados ómnibus con el 12.78%, camiones de 02, 03 y 04 ejes el 0.51%, semitrailers y trailers con 0.00%. Figura N°17 y Figura N°18.

Tabla 8

Índice Medio Diario Anual (IMDA) Estaciones E1 Y E3: Av. Hartley (Km. 0+180 – Km. 0+240)

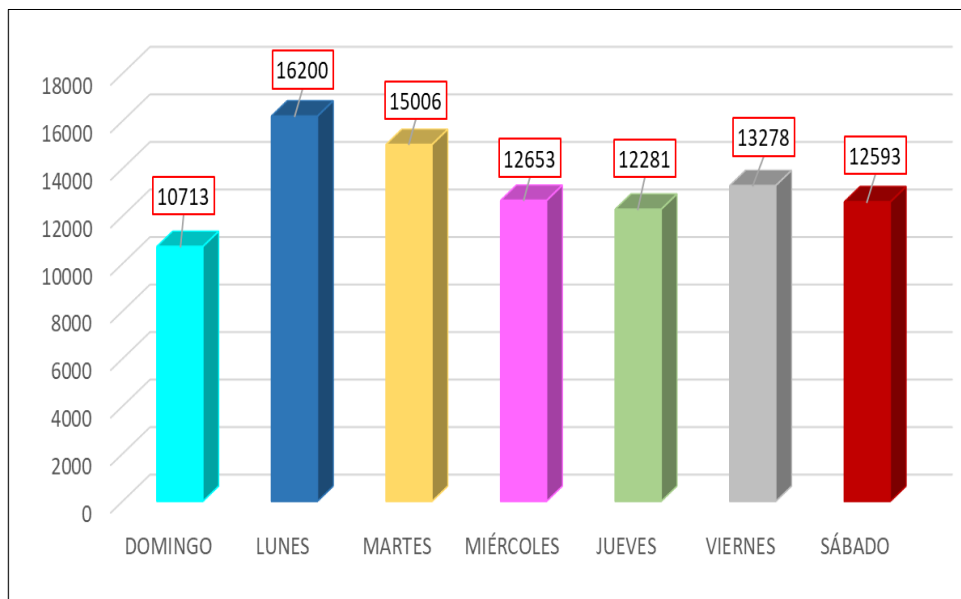
Tráfico vehicular promedio semanal (Veh/día)		
Tipo de vehículo	IMD	Distribución %
Automóvil	10166	69.93
S. Wagon	276	1.90
Pick up	703	4.84
Panel	344	2.37
Rural	345	2.37
Micro	770	5.30
2E	1788	12.30
3E	63	0.44
4E	6	0.04
2E	57	0.39
3E	15	0.10
4E	3	0.02
2S1	0	0.00
2S2	0	0.00
2S3	0	0.00
3S1	0	0.00
3S2	0	0.00
>=3S3	0	0.00
2T2	0	0.00
2T3	0	0.00
3T2	0	0.00
>=3S3	0	0.00
Total, IMD	14536	100%

Figura 17*Composición del Tráfico***d) Variación Horaria**

El flujo vehicular es variable en función a la hora. En el aforamiento se determinó que las horas en las que se hace mayor demanda de la intersección de la av. guardia civil, av. Pizarro y av. Hartley, son en los rangos horarios de 7:30am hasta las 10:00am, por la tarde tiene un aumento de flujo desde las 16:00 horas hasta 21:00 horas.

e) Variación Diaria

El mayor volumen de tráfico por día en este tramo, se presenta el día lunes con 16200 vehículos. El día de menor volumen de tráfico es el domingo con 10713 vehículos. Estos resultados se muestran en la figura 17.

Figura 18*Variación diaria de vehículos***Resumen del Tráfico Promedio Semanal y del Índice Medio Diario Anual**

A continuación, un resumen de los resultados por estación y tramos identificados.

Tráfico promedio de la semana

En el Figura N°18 se presenta el resumen del tráfico promedio semanal y la clasificación vehicular correspondiente a cada una de las estaciones donde se realizó el conteo, expresados en cifras absolutas como resultado del aforo volumétrico efectuado en los tramos viales materia de estudio. La información expuesta permite identificar el comportamiento de la demanda vehicular en cada punto de control. Asimismo, el análisis del tráfico promedio semanal facilita reconocer variaciones en la intensidad circulatoria entre estaciones y determinar los accesos con mayor volumen de tránsito. Estos resultados constituyen una base técnica relevante para la evaluación operativa de la intersección, la proyección de la demanda futura y la formulación de propuestas orientadas a optimizar la capacidad y eficiencia del sistema vial.

Tabla 9

Resumen del Tráfico IMD

Tipo de vehículo	E1-E3	E2-E4
Automóvil	23336	9052
S. Wagon	281	246
Pick up	425	626
Panel	382	306
Rural	345	307
Micro	2277	685
2E	204	1873
3E	59	66
4E	12	6
2E	43	60
3E	103	15
4E	27	3
2S1	96	0
2S2	15	0
2S3	12	0
3S1	17	0
3S2	14	0
>=3S3	13	0
2T2	20	0
2T3	32	0
3T2	33	0
>=3S3	24	0
Total, IMD	27772	13246

Índice Medio Diario Anual (IMDA)

En la Tabla N°9 se presenta el resumen de los IMD anual obtenidos sobre la base del Tabla N°10 y el factor de corrección, por tipo de vehículos para los cuatro puntos de acceso al sistema.

Tabla 10*Resumen del Índice Medio Diario Anual (IMDA)*

Tipo de vehículo	E1-E3	E2-E4
Automóvil	26208	10166
S. Wagon	315	276
Pick up	477	703
Panel	429	344
Rural	388	345
Micro	2558	770
2E	195	1788
3E	56	63
4E	12	6
2E	41	57
3E	98	15
4E	26	3
2S1	92	0
2S2	14	0
2S3	12	0
3S1	16	0
3S2	14	0
>=3S3	12	0
2T2	19	0
2T3	30	0
3T2	32	0
>=3S3	23	0
Total, IMD	31068	14536

Según los resultados obtenidos de los conteos vehiculares, se realizó el diseño vial con los valores hallados de la estación E-01 y E-03 de 31068 vehículos (Tabla N°10).

Proyección Del Tráfico

Tráfico Normal

El tráfico normal es el descrito en los acápite anteriores, que corresponden al volumen y clasificación vehicular de los conteos clasificados efectuados en enero año 2026, es $IMD = 23336$ vehículos/día.

Tráfico Desviado

Adicionalmente, estimamos que no se presentara tráfico desviado de larga distancia, debido que no se presenta vía alterna.

Tráfico Generado

El tráfico generado o inducido corresponde a aquel que no existe en la situación sin proyecto, pero que aparecerá como consecuencia de una mejor infraestructura. En este caso, al mejorarse la vía y la carpeta a nivel de asfaltado se espera tráfico generado en el año 2046 es de $IMD = 26208$ vehículos/día de del tráfico normal consecuencia del menor tiempo de viaje, mayor confort y seguridad vial:

$$\text{Trafico generado} = 26208 \text{ IMD vehículos/día}$$

Proyección Del Tráfico

La metodología para proyectar el tráfico futuro de vehículos de pasajeros y de carga, se basa en la proyección de los indicadores macro económicos que en el presente caso corresponderá a Población, per cápita y Producto Bruto Interno. Tomando en consideración los resultados de la encuesta origen-destino, obtenemos que la mayor proporción de los viajes del Área de Influencia, corresponden al transporte interno en la provincia de Arequipa y transporte Regional de Arequipa, Cusco, Lima, Tacna y Moquegua.

Para el estudio utilizamos la fórmula de demanda proyectada para 20 años:

$$T_n = T_0(1 + r)^{(n-1)}$$

Donde:

T_n : Transito proyectado al año en vehículos por día

T_0 : Transito actual (año base) en vehículos por día

n : Año futuro de proyecto

r : Tasa anual de crecimiento de transito

Tasa de crecimiento por región:

r_{vp} : 2.90 tasa de crecimiento anual de la población (para vehículos de pasajero)

r_{vp} : 2.97 tasa de crecimiento del PBI regional (para vehículos de carga)

La demanda proyectada “con proyecto”

Trafico generado por tipo de proyecto para la presente tesis, (ver tabla 11).

Tabla 11

Trafico generado por tipo de proyecto

Tipo de intervención	% de tráfico normal
Mejoramiento	10

Fuente: guía metodológica simplificada

Tasa de crecimiento del tráfico por tipo de vehículos

Las tasas de crecimiento del tráfico por tipo de vehículo, constituyen el promedio ponderado de las tasas de generación de viajes entre pares de zonas (ponderadas por los volúmenes de tráfico correspondientes). Para su determinación se efectuó una asignación de los tráficos de cada tipo de vehículo. En la figura siguiente se muestra las tasas de crecimiento poblacional y PBI por departamento, según estadísticas de registro calculadas, por tipo de vehículo, para ser empleadas en las proyecciones respectivas, tal como se mencionará durante el desarrollo de la metodología

Figura 19*Tasas para la proyección de la demanda*

Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Ligeros		Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Pesados	
Amazonas.	1.12%	Amazonas.	2.69%
Ancash.	2.33%	Ancash.	1.49%
Apurímac.	1.13%	Apurímac.	4.50%
Arequipa.	2.90%	Arequipa.	2.97%
Ayacucho.	1.83%	Ayacucho.	2.90%
Cajamarca.	3.05%	Cajamarca.	1.45%
Cusco.	2.77%	Cusco.	3.07%
Huancavelica.	1.17%	Huancavelica.	2.00%
Huánuco.	1.94%	Huánuco.	3.03%
Ica.	1.10%	Ica.	2.62%
Junín.	2.04%	Junín.	2.84%
La Libertad.	2.61%	La Libertad.	2.21%
Lambayeque.	2.40%	Lambayeque.	2.54%
Lima Provincias.	2.61%	Lima Provincias.	2.34%
Loreto.	0.12%	Loreto.	1.48%
Madre de Dios.	2.22%	Madre de Dios.	1.38%
Moquegua.	1.97%	Moquegua.	0.58%
Pasco.	1.72%	Pasco.	0.39%
Piura.	2.38%	Piura.	2.37%
Puno.	2.47%	Puno.	2.58%
San Martín.	2.11%	San Martín.	2.88%
Tacna.	2.13%	Tacna.	2.36%
Tumbes.	0.81%	Tumbes.	2.40%
Ucayali.	1.73%	Ucayali.	2.25%

Nota: La tabla muestra las tasas de crecimiento vehicular de vehículos ligeros y pesados. Extraído de Ficha Técnica Estándar para carreteras urbanas – sector transporte.

De la figura 19, se tiene que para la ciudad de Arequipa la tasa de crecimiento de vehículos ligeros es de 2.90% y para vehículos pesados es de 2.97%, lo que permitirá complementar con la información de la figura 20, que el pavimento óptimo para esta intersección es el pavimento rígido, dicho pavimento tiene una capa de rodadura adecuada porque no va influir en el tiempo de traslado de los vehículos, por lo tanto, la intersección vial propuesta tendrá un óptimo servicio de transitabilidad vehicular, permitiendo un menor tiempo de traslado de los usuarios.

Figura 20
Ejes equivalentes para diseño de pavimento

Ejes Equivalentes Pavimento Rígido								
TIPO DE VEHÍCULO			IMDA	TIPO EJE	NUMERO	CARGA	"EE" P. FLEXIBLE	EE. IMDA FLEXIBLE
			2025	Tabla	LLANTAS	EJE Tn	Tabla	
VEHICULOS LIGEROS		Autos	26208.00	SIMPLE	2	1	0.000436	11.436779
			26208.00	SIMPLE	2	1	0.000436	11.436779
		S. Wagon	315.00	SIMPLE	2	1	0.000436	0.137461
			315.00	SIMPLE	2	1	0.000436	0.137461
		Pick Up	477.00	SIMPLE	2	1	0.000436	0.208156
			477.00	SIMPLE	2	1	0.000436	0.208156
		Panel	429.00	SIMPLE	2	1	0.000436	0.187209
			429.00	SIMPLE	2	1	0.000436	0.187209
		Rural	388.00	SIMPLE	2	1	0.000436	0.169317
			388.00	SIMPLE	2	1	0.000436	0.169317
OMNIBUS		Micros	2558.00	SIMPLE	2	1	0.000436	1.116273
			2558.00	SIMPLE	2	1	0.000436	1.116273
		2E	195.00	SIMPLE	2	7	1.272834	248.202665
			195.00	SIMPLE	4	11	3.334826	650.291123
		3E	56.00	SIMPLE	2	7	1.272834	71.278714
			56.00	TANDEM	6	16	2.342740	131.193468
CAMIÓN		4E	12.00	TANDEM	4	14	2.240081	26.880977
			12.00	TANDEM	6	16	2.342740	28.112886
		2E	41.00	SIMPLE	2	7	1.272834	52.186201
			41.00	SIMPLE	4	11	3.334826	136.727877
		3E	98.00	SIMPLE	2	7	1.272834	124.737749
			98.00	TANDEM	8	18	3.458004	338.884432
SEMITRAYLERS		2S1	26.00	SIMPLE	2	7	1.272834	33.093689
			26.00	TRIDEM	10	23	3.685352	95.819156
		2S2	92.00	SIMPLE	2	7	1.272834	117.100744
			92.00	SIMPLE	4	11	3.334826	306.804017
		2S3	92.00	SIMPLE	4	11	3.334826	306.804017
			14.00	SIMPLE	2	7	1.272834	17.819678
		2S4	14.00	SIMPLE	4	11	3.334826	46.687568
			14.00	TANDEM	8	18	3.458004	48.412062
		2S5	12.00	SIMPLE	2	7	1.272834	15.274010
			12.00	SIMPLE	4	11	3.334826	40.017915
		2S6	12.00	TRIDEM	12	25	4.164931	49.979175
			16.00	SIMPLE	2	7	1.272834	20.365347
		2S7	16.00	TANDEM	8	18	3.458004	55.328071
			16.00	SIMPLE	4	11	3.334826	53.357220
		2S8	14.00	SIMPLE	2	7	1.272834	17.819678
			14.00	TANDEM	8	18	3.458004	48.412062
		2S9	14.00	TANDEM	8	18	3.458004	48.412062
			12.00	SIMPLE	2	7	1.272834	15.274010
TRAYLERS		2T2	12.00	TANDEM	8	18	3.458004	41.496053
			12.00	TRIDEM	12	25	4.164931	49.979175
		2T3	19.00	SIMPLE	2	7	1.272834	24.183849
			19.00	SIMPLE	4	11	3.334826	63.361699
		2T4	19.00	SIMPLE	4	11	3.334826	63.361699
			19.00	SIMPLE	4	11	3.334826	63.361699
		2T5	30.00	SIMPLE	2	7	1.272834	38.185025
			30.00	SIMPLE	4	11	3.334826	100.044788
		2T6	30.00	SIMPLE	4	11	3.334826	100.044788
			30.00	TANDEM	8	18	3.458004	103.740132
		2T7	32.00	SIMPLE	2	7	1.272834	40.730694
			32.00	TANDEM	8	18	3.458004	110.656141
		2T8	32.00	SIMPLE	4	11	3.334826	106.714441
			32.00	SIMPLE	4	11	3.334826	106.714441
		2T9	23.00	SIMPLE	2	7	1.272834	29.275186
			23.00	TANDEM	8	18	3.458004	79.534101
		2T10	23.00	SIMPLE	4	11	3.334826	76.701004
			23.00	TANDEM	8	18	3.458004	79.534101

Tiempo de cola en la intersección

Este es el tiempo que un vehículo permanece detenido o avanzando lentamente dentro de una fila antes de cruzar la intersección. Su cálculo puede abordarse desde métodos simplificados o mediante procedimientos más rigurosos como los del Highway Capacity Manual (HCM).

Una forma práctica de calcularlo es:

$$T_c = \frac{L_c}{V}$$

Donde:

T_c = tiempo de cola (segundos)

L_c = longitud de cola (m)

V = velocidad promedio de descarga (m/s)

Método basado en demora (HCM)

En ingeniería de tránsito, el tiempo de cola está relacionado con la demora promedio por vehículo:

$$d = d_1 + d_2 + d_3$$

Donde:

d_1 = demora uniforme (por semáforo)

d_2 = demora incremental (sobresaturación)

d_3 = demora por condiciones iniciales

Nota: Este valor d representa el tiempo promedio que un vehículo permanece en cola.

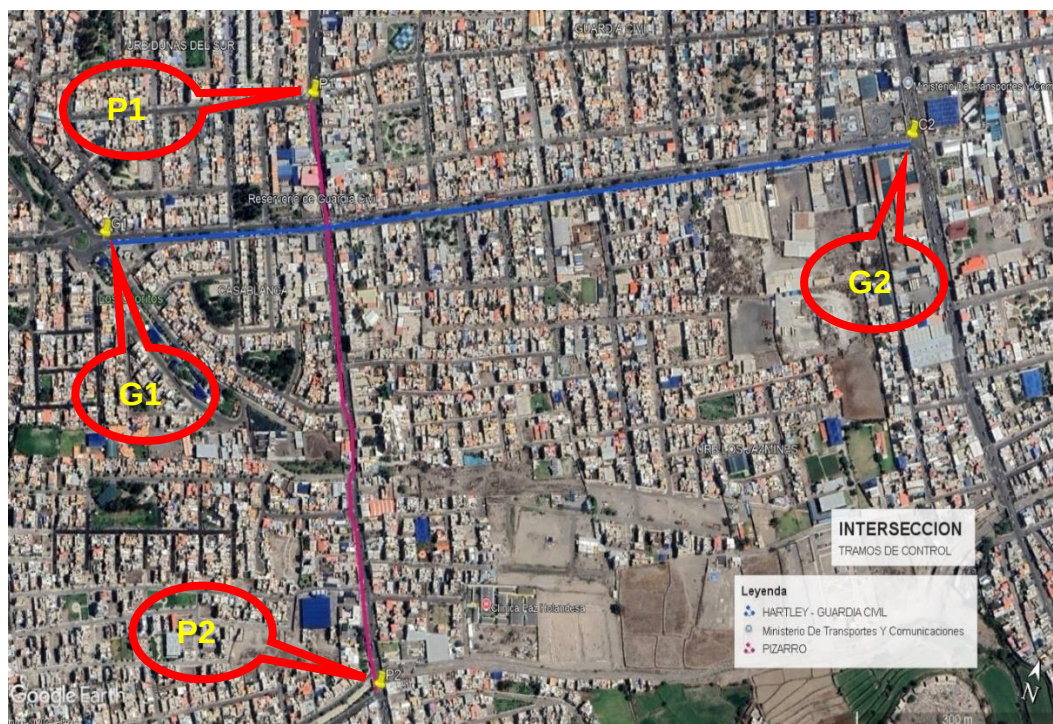
Medición del tiempo de traslado

Como complemento para el presente estudio se realizó medición de los tiempos en horario crítico en ambas avenidas de la intersección, con la finalidad de determinar la variación del tiempo al realizar el cruce de la intersección. Para esta actividad se utilizó un automóvil de uso particular. En la avenida Pizarro se tomó como referencia en el punto de partida el semáforo en la calle Santa Catalina (P1) y como punto final, la Av. Tupac Amaru (P2), con una distancia de 800 metros, se recorrió el mismo tramo en el sentido

contrario. En la avenida longitudinal de la Hartley – Guardia Civil, el cual tiene como punto de partida en la avenida Hartley, semáforo los coritos (G1), el punto final de tramo en el semáforo con la avenida Kennedy (G2), con una distancia total del tramo de 1,250 metros.

Figura 21

Ubicación de los tramos de medición



Nota: Elaborado en Google Earth

Tabla 12

Tiempo de recorrido en los puntos de referencia

ítem	tramo	distancia (m)	tiempo ingreso a la cola (s)	tiempo decola en semáforo (s)	tiempo solo semáforo (s)	tiempo salida del semáforo (s)	tiempo total (s)
1	P1 - P2	800	14	280	50	28	322
2	P2 - P1	800	42	320	50	12	374
3	C1 - C2	1250	20	430	70	176	626
4	C2 - C1	1250	162	343	70	40	545

El análisis de los tiempos de recorrido evidencia niveles significativos de congestión en la intersección, registrándose tiempos totales de hasta 626 segundos en el eje Hartley - Guardia Civil, lo que confirma la presencia de colas prolongadas y demoras excesivas en condiciones actuales. Estos valores reflejan un funcionamiento deficiente del sistema vial, asociado principalmente a la alta demanda vehicular y a la existencia de múltiples puntos de conflicto. En este contexto, la propuesta de rediseño geométrico vial permitirá reducir los tiempos de espera, optimizar la descarga vehicular y mejorar la eficiencia operativa de la intersección.

Como parte del desarrollo del proyecto, en cumplimiento del primer objetivo específico del primer objetivo de la presente investigación, se plantea a continuación una propuesta en trazos como alternativa de análisis futuro con las herramientas de simulación como parte de una mejora del conflicto vehicular.

Figura 22
Trazo de propuesta del intercambio vial



Resultados:

El análisis del flujo vehicular en la intersección Pizarro–Guardia Civil evidencia un alto nivel de saturación en el eje principal (E1–E3), registrando un IMDA de 31,068 vehículos/día, lo que supera la capacidad operativa de una intersección a nivel tipo cruz sin tratamiento geométrico especializado. Esta condición genera incrementos significativos en los tiempos de cola, demoras y conflictos vehiculares, particularmente en movimientos de giro a la izquierda, lo que confirma la necesidad de un nivel de intervención alto mediante rediseño geométrico.

Los tiempos de recorrido obtenidos en campo, con valores máximos de hasta 626 segundos en horas punta, demuestran un funcionamiento ineficiente de la intersección, caracterizado por congestión recurrente y baja velocidad de operación. Estos resultados evidencian que la geometría actual no responde adecuadamente a la demanda vehicular existente, por lo que la intervención propuesta permitirá mejorar la continuidad del flujo, reducir las colas y optimizar los niveles de servicio.

La evaluación de la composición vehicular muestra una predominancia de vehículos ligeros (más del 90%), lo que implica alta intensidad de tránsito urbano continuo, acompañado de una presencia moderada de vehículos pesados en el eje secundario. Esta configuración refuerza la necesidad de un rediseño geométrico que incluya canalización de flujos, mejora de radios de giro y segregación de movimientos, permitiendo incrementar la capacidad de la intersección y garantizar su operatividad en el horizonte de diseño proyectado.

Validación:

Los resultados obtenidos en la presente investigación son consistentes con lo establecido en el Transportation Research Board a través del Highway Capacity Manual, el cual señala que intersecciones urbanas con relaciones volumen/capacidad cercanas o superiores a 1.0 presentan niveles

de servicio E o F, caracterizados por altas demoras y congestión. En ese sentido, los valores de IMDA y tiempos de cola registrados en el estudio confirman que la intersección analizada se encuentra en condiciones de saturación, validando la necesidad de una intervención geométrica para mejorar su desempeño operacional.

Los resultados obtenidos en el desarrollo del primer objetivo, que evidencian altos volúmenes de tránsito (IMDA) y niveles significativos de congestión en la intersección estudiada, son consistentes con estudios académicos como el desarrollado en la ciudad de Iquitos, Linares Fuchs, y Mori Mendoza, (2022), donde se determinó una relación estadísticamente significativa entre la capacidad vial y el flujo vehicular, concluyendo que a mayor saturación de la vía se incrementan las demoras y se deteriora el nivel de servicio ; de manera similar, una tesis aplicada en Moquegua, Conde y Luna Jarro (2024), donde empleando metodologías del Highway Capacity Manual evidenció que intersecciones con alta demanda vehicular presentan condiciones críticas de operación, requiriendo intervenciones para mejorar su eficiencia , lo cual valida que los valores elevados de IMDA y tiempos de cola observados en la presente investigación responden a un escenario de sobresaturación vial que justifica técnicamente la intervención geométrica propuesta.

Finalmente, es consistente con las investigaciones desarrolladas por la Federal Highway Administration, que ha demostrado que la mejora geométrica de intersecciones urbanas puede reducir entre un 20% y 50% los tiempos de demora y disminuir considerablemente la longitud de colas en horas punta. En ese sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio, que evidencian altos tiempos de espera y congestión, se alinean con dichos hallazgos, confirmando que la necesidad de implementación de un diseño geométrico que permita mejorar significativamente la eficiencia del flujo vehicular.

Síntesis de la validación:

En conjunto, los resultados obtenidos y su contraste con estudios técnicos y normativos confirman que la intersección evaluada presenta condiciones de saturación y bajo nivel de servicio, por lo que realizar la propuesta de diseño geométrico vial constituye una solución técnicamente válida, funcional y necesaria para mejorar la eficiencia del flujo vehicular, reducir los tiempos de demora y garantizar condiciones adecuadas de operatividad en el horizonte de diseño proyectado.

4.1.2 Desarrollo y validación del objetivo específico 2

Para determinar la capacidad proyectada del intercambio vial que contribuya a mejorar la capacidad operativa del sistema vial urbano en el cruce de las avenidas Pizarro y Avenida Guardia Civil, ubicado en el Distrito de Paucarpata, provincia de Arequipa, se utilizó los resultados obtenidos en el desarrollo del objetivo específico 1, con este se realizó un análisis técnico basado en la evaluación de la demanda vehicular actual y su proyección al horizonte del año 2046. Para esto, se efectuaron aforos vehiculares clasificados para identificar el volumen horario de máxima demanda, la composición del tránsito y los movimientos predominantes en la intersección. Posteriormente, se proyectó el crecimiento del tránsito mediante la aplicación de tasas de incremento vehicular, considerando el desarrollo urbano y la dinámica de movilidad del sector en estudio.

Con los resultados del primer objetivo del trabajo de campo (levantamiento topográfico y aforamiento vehicular), se procedió a realizar el análisis de la situación actual del flujo vehicular haciendo uso de la herramienta digital Synchro 12, con el cual se pudo determinar el punto en conflicto mayor en la intersección en estudio es el giro a la izquierda de la avenida Hartley hacia la avenida Pizarro, como segundo lugar los giros a la izquierda de la avenida guardia civil hacia la avenida Pizarro, en tercer lugar el giro a la izquierda de la avenida Pizarro hacia la avenida Hartley y como cuarto lugar el giro a la izquierda el flujo vehicular de la avenida Pizarro hacia la avenida guardia civil.

Figura 23

Reporte del tráfico av. Hartley y av. Pizarro



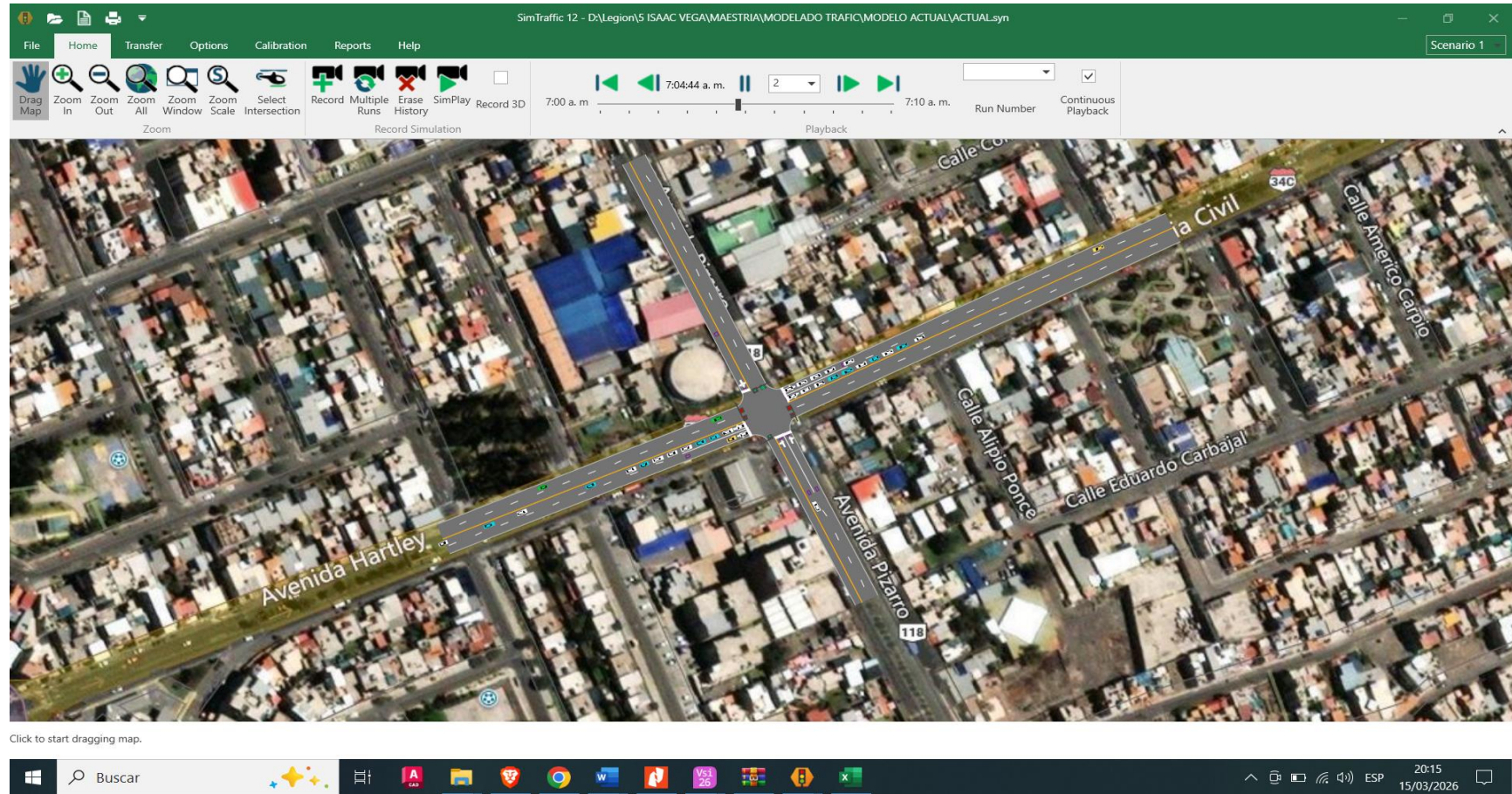
Nota: En la figura se evidencia la saturación vehicular en la av. Hartley y la av. Guardia civil.

En el escenario actual, la intersección presenta una capacidad operativa limitada, caracterizada por altos niveles de congestión, tiempos de demora elevados y un bajo nivel de servicio, lo cual responde a deficiencias geométricas, falta de sincronización semafórica y crecimiento sostenido del parque automotor. Esta condición genera una saturación progresiva de la infraestructura vial existente, evidenciando que la capacidad instalada ha sido superada por la demanda vehicular, lo que repercute directamente en la eficiencia del sistema urbano.

En base a los resultados del objetivo específico 1, se desarrolla el modelado del escenario actual que muestro a continuación:

Figura 24

Modelado del tráfico vehicular actual – Synchro Traffic12



Nota: La figura muestra el modelado actual del flujo vehicular, de acuerdo al conteo realizado insito.

Con base en la información obtenida, se determinó la capacidad de diseño del intercambio vial propuesto mediante la aplicación de metodologías de análisis de capacidad, considerando variables geométricas relevantes como el número de carriles, radios de giro, pendientes longitudinales, así como la incorporación de carriles de aceleración y desaceleración. Asimismo, se incluyó en el análisis la influencia del tránsito pesado y del transporte público sobre el desempeño operativo de la infraestructura. Además de la capacidad proyectada del intercambio vial se determina a partir de la simulación de un nuevo diseño geométrico que incorpora separación de flujos, eliminación de conflictos vehiculares y continuidad del tránsito mediante infraestructura a desnivel. La modelación del tráfico proyectado permite observar una redistribución más eficiente de los volúmenes vehiculares, reduciendo las interacciones conflictivas y aumentando la capacidad efectiva de la intersección. Este incremento de capacidad no solo se expresa en términos de mayor volumen vehicular soportado, sino también en la reducción significativa de tiempos de viaje y demoras.

En este contexto, se evaluó la relación volumen/capacidad (v/c) y el nivel de servicio (LOS) en escenarios comparativos “sin proyecto” y “con proyecto”, lo cual permitió verificar la capacidad operativa del diseño propuesto frente a la demanda vehicular proyectada. Para ello, se empleó el software de microsimulación PTV VISSIM 2026, utilizando como insumo el flujo vehicular proyectado en función del IMDa.

De manera complementaria, se desarrollaron diversos escenarios de modelación a partir de las condiciones actuales previamente analizadas en el software Synchro 12, lo que permitió optimizar la configuración geométrica de la intersección. Como resultado, se incorporó un carril subterráneo en las avenidas Hartley y Guardia Civil, destinado a canalizar los movimientos de giro a la izquierda hacia la calle Cabo Pinto. Asimismo, se planteó la segregación de un carril exclusivo a nivel para giros a la derecha, con el objetivo de reducir interferencias y mejorar la fluidez del tránsito vehicular.

Figura 25

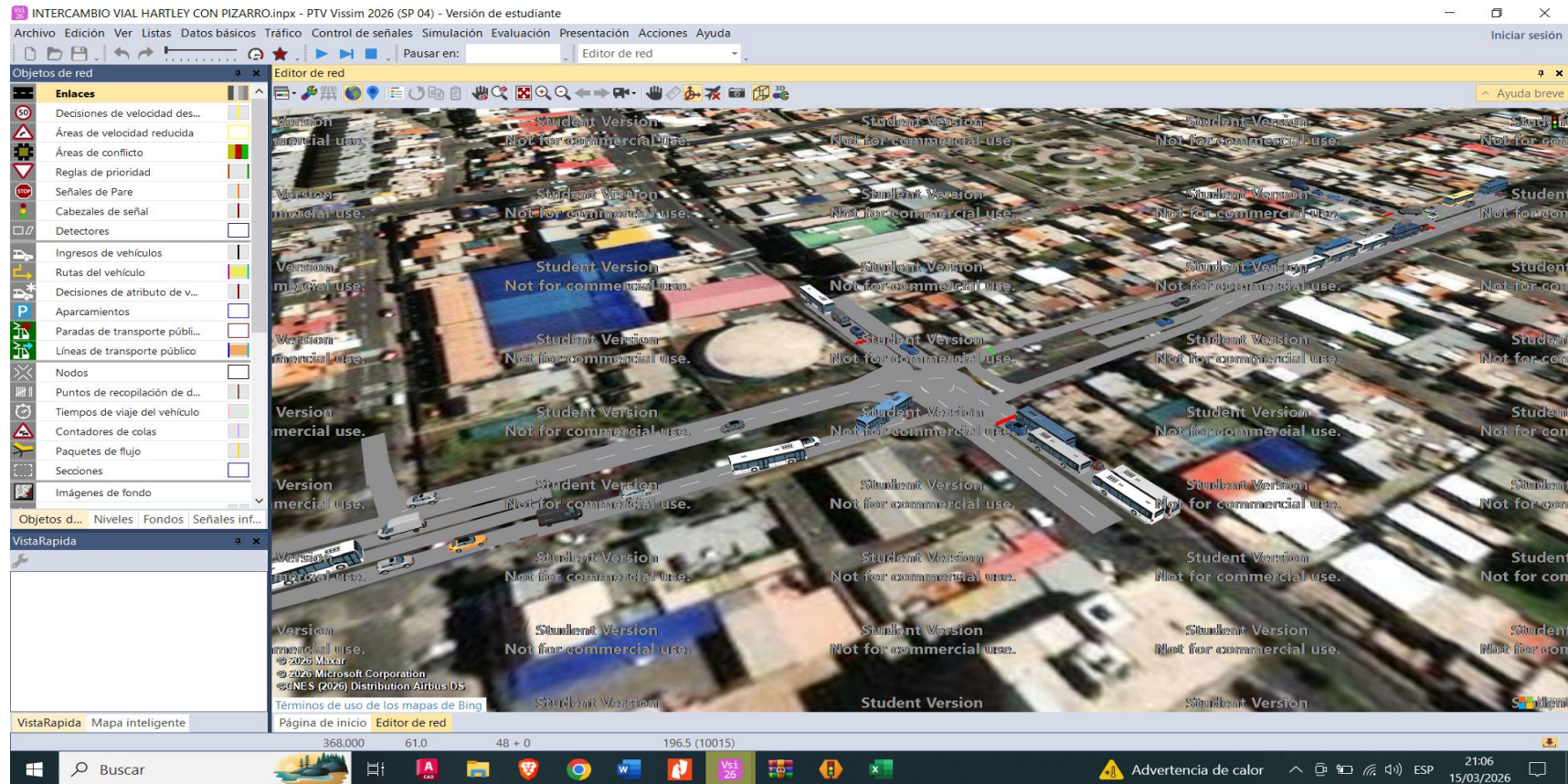
Modelado del tráfico vehicular proyectado

Figura 26
vista en isométrico del intercambio vial

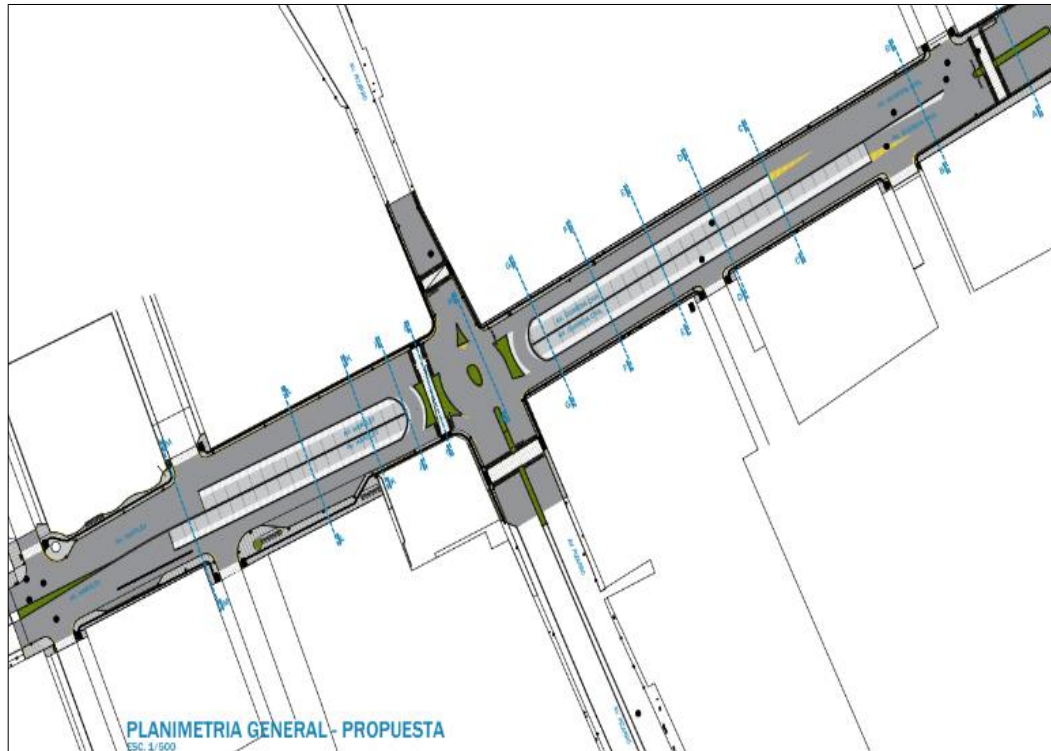


Una vez logrado el modelo de simulación adecuado y optimo para la intersección se procedió a plasmar el diseño vial en planos. El diseño introduce al intercambio vial un eje longitudinal en las avenidas hartley y guardia civil mediante un zanjón en ambos sentidos con el objetivo de optimizar el tiempo de cola en la av. Hartley y dar mayor continuidad al flujo vehicular de la av. Guardia Civil en el sentido de bajada. Además, se incorporó tres semáforos en el ovalo que segrega el flujo vehicular. De acuerdo al diseño propuesto se verifico que la calle Cabo Pinto que interseca con la av. Guardia Civil se incorpora al sistema como vía alterna para los vehículos que requiera dirigirse por la av. Pizarro, al centro de la ciudad, puesto que es una vía paralela y con poco uso en la actualidad.

Esta propuesta se realizó de acuerdo a la planimetría, a la topografía, además la secciones longitudinales y transversales, finalmente el modelo en 3D, esto muestro a continuación con las secciones de vía que pertenecen a la capacidad vehicular proyectada.

Figura 27

Plano de diseño propuesto como solución

**Figura 28**

Modelo en 3D de plano propuesto



Figura 29

Plano de propuesta insertado en la sección real



Medición del tiempo de traslado con el intercambio vial

Con la incorporación de la propuesta en el sistema vial, se toma como referencia los puntos de control indicados en la figura 21 para determinar la eficiencia del diseño de la propuesta del intercambio vial se realizó las mediciones de tiempo en la intersección. En la avenida Pizarro se tomó como referencia en el punto de partida el semáforo en la calle santa catalina (P1) y como punto final, la Av. Tupac amaru (P2), con una distancia de 800 metros, se recorrió el mismo tramo en el sentido contrario. En la avenida longitudinal de la Hartley – Guardia Civil, el cual tiene como punto de partida en la avenida Hartley, semáforo los coritos (G1), el punto final de tramo en el semáforo con la avenida Kennedy (G2), con una distancia total del tramo de 1,250 metros. La prueba se realizó en vacío en horario nocturno con la supervisión de un funcionario de la municipalidad de José Luis Bustamante y Rivero, además que se utilizó el mismo vehículo con finalidad de tener mayor certeza en el resultado. De este ensayo se obtuvo:

Tabla 13*Estimación de tiempo con el intercambio vial*

ítem	tramo	distancia (m)	tiempo ingreso a la cola (s)	tiempo decola en semáforo (s)	tiempo solo semáforo (s)	tiempo salida del semáforo (s)	tiempo total (s)
1	P1 - P2	800	14	90	30	28	132
2	P2 - P1	800	42	105	30	12	159
3	C1 - C2	1250	20	160	40	176	356
4	C2 - C1	1250	162	150	40	40	352

Nota: Tiempos de recorrido con el modelado del intercambio vial

Habiendo revisado el tiempo total de la tabla 12 con el tiempo total de la tabla 13 se tiene una diferencia significativa en segundo en el recorrido de cada tramo en horario crítico, con la implementación del intercambio se muestra unos resultados favorables:

Tabla 14*Diferencia de tiempo de recorrido del tramo de ambos escenarios*

ítem	tramo	distancia (m)	Actual tiempo total (s) (a)	Modelado tiempo total (s) (b)	Diferencia de tiempo (s) (a-b)	%
1	P1 - P2	800	322	132	190	59%
2	P2 - P1	800	374	159	215	57%
3	C1 - C2	1250	626	356	270	43%
4	C2 - C1	1250	545	352	193	35%

En el escenario actual (tabla 13), los tiempos de recorrido en el tramo C1-C2 alcanzan valores promedio de 270 segundos, evidenciando condiciones de congestión severa y un nivel de servicio deficiente. Con la implementación del intercambio vial, los tiempos de recorrido se reducen a 154 segundos en promedio, lo que representa una disminución del 43%. Esta mejora evidencia un incremento significativo en la eficiencia operativa del sistema vial. De manera similar, en la avenida Pizarro (P1-P2), los tiempos de recorrido se reducen de 190 a 78 segundos, representando una mejora del

59%, lo cual demuestra la efectividad de la propuesta en la optimización del flujo vehicular.

Tabla 15

Mejoras en la av. Hartley

Indicador	Actual	Proyecto
LOS	F	B
Demora	185 s	62 s
Cola máxima	230 m	78 m
Velocidad	14 km/h	33 km/h

Resultados:

El análisis del escenario actual mediante el software Synchro 12 permitió identificar que la intersección presenta una capacidad operativa limitada, evidenciada por altos niveles de congestión, demoras elevadas y un nivel de servicio deficiente (LOS F). Asimismo, se determinó que los principales puntos críticos corresponden a los giros a la izquierda, especialmente desde la avenida Hartley hacia la avenida Pizarro, lo que genera saturación en la intersección y sobrecarga de la infraestructura vial existente. Este resultado confirma que la problemática principal no radica únicamente en el volumen vehicular, sino en la configuración geométrica y operativa de la intersección, coincidiendo con los antecedentes de la tesis que señalan que las intersecciones urbanas con giros a la izquierda sin canalización adecuada tienden a generar mayores conflictos y congestión. En esa línea, estudios previos citados en el marco teórico evidencian que la identificación de puntos críticos mediante herramientas de simulación permite diagnosticar con precisión los cuellos de botella del sistema vial. Por tanto, el presente resultado valida la necesidad de una intervención estructural, ya que la capacidad instalada ha sido superada por la demanda vehicular.

La modelación del escenario “con proyecto” utilizando PTV VISSIM 2026 permitió determinar que la implementación del intercambio vial, con infraestructura a desnivel, carriles segregados y eliminación de conflictos, genera una redistribución eficiente del flujo vehicular, incrementando la capacidad efectiva de la intersección. Asimismo, la evaluación volumen/capacidad (v/c) y el nivel de servicio (LOS) evidencian una mejora significativa en la operación del sistema. Este resultado es coherente con los antecedentes incluidos en la tesis, los cuales sostienen que los intercambios viales constituyen soluciones eficientes para intersecciones con alta demanda, ya que permiten separar flujos y reducir interferencias. En particular, investigaciones citadas en el marco referencial destacan que el uso de microsimulación permite cuantificar mejoras en capacidad y nivel de servicio, lo cual se ve reflejado en el presente estudio. En consecuencia, se confirma que el diseño geométrico propuesto no solo incrementa la capacidad física, sino que optimiza el desempeño operativo del sistema vial, alineándose con enfoques modernos de ingeniería de tránsito.

La evaluación comparativa entre el escenario actual y el proyectado evidencia una reducción significativa en los tiempos de recorrido, con disminuciones de hasta 270 segundos y mejoras porcentuales de hasta 59%. Asimismo, se observa una mejora sustancial en los indicadores operacionales de la avenida Hartley, donde el nivel de servicio pasa de F a B, la demora se reduce de 185 s a 62 s, la longitud de cola disminuye de 230 m a 78 m y la velocidad promedio se incrementa de 14 km/h a 33 km/h. Estos resultados evidencian que el incremento de la capacidad proyectada se traduce directamente en mejoras operativas del sistema vial, lo cual coincide con antecedentes nacionales y locales citados en la tesis, donde se señala que las intervenciones a desnivel permiten reducir tiempos de desplazamiento y mejorar la fluidez vehicular. De igual manera, estudios previos destacan que la optimización del flujo vehicular conlleva una reducción de demoras y colas, lo cual se verifica en el presente caso. No

obstante, estos beneficios dependen de una adecuada implementación y gestión del sistema, por lo que se reafirma que la solución propuesta debe complementarse con una correcta planificación y control del tránsito para garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

Validación:

La validación es comparar tus resultados con los obtenidos por autores en estudios similares:

En la presente investigación se obtuvo una reducción del tiempo de cola en la congestión vehicular de acuerdo a los puntos de referencia descritos en la figura 21, en el tramo P1-P2 existe una reducción de 190 segundos, con un índice de reducción del 59%, menos del que se generaba por la congestión vehicular antes del estudio, en el tramo P2-P1 existe una reducción de 215 segundos, con un índice de reducción del 57%, menos del que se generaba por la congestión vehicular antes del estudio, ambos en la avenida Pizarro. En el tramo C1-C2 existe una reducción de 270 segundos, con un índice de reducción del 43%, menos del que se generaba por la congestión vehicular antes del estudio, en el tramo C2-C1 existe una reducción de 193 segundos, con un índice de reducción del 35%, menos del que se generaba por la congestión vehicular antes del estudio en la avenida Hartley y la avenida Guaría Civil, lo que se valida con las investigaciones realizadas por Mango Michue, Alvaro Humberto (2024), en su investigación *Propuesta de rediseño vial de la intersección de la Carretera Central y la avenida Andrés Avelino Cáceres mediante microsimulación*, donde muestra una reducción en un 30.4% el tiempo de cruce vehicular a través de la intersección.

Así también se valida por la investigación de Acuña Supo, Stephani Milena (2023), en su investigación *Optimización del flujo vehicular y mejora del servicio peatonal en la intersección vial de Jirón Vilcabamba y Jirón Machupicchu en la ciudad de Quillabamba*, donde muestra una

reducción del ancho de carriles, implementación de islas esquinera, rediseño de semaforización y señalizaciones, se logró un 11.03% de disminución en tiempos de viaje vehiculares y 35.9% en los peatonales.

Finalmente se valida por la investigación de Acosta Ordoñez, Luigui Alexander (2020), en su investigación *Propuesta vial para mejorar la transitabilidad vehicular en la intersección de las avenidas prolongación Francisco Bolognesi y José Leonardo Ortiz en la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque*, presentó una mejor distribución del flujo vehicular, orden y señalización. Asimismo, se presentó un promedio de disminuciones de 52.07%, respecto al tiempo de viaje, y un promedio de disminuciones de 1.46 %, en relación con la distancia de recorrido.

Por lo expuesto, la presente investigación se valida de forma positiva, brindando mejoras con la implementación del intercambio vial propuesto, por tanto, es adecuado para su introducción el sistema vial urbano.

4.1.3 Desarrollo y validación del Objetivo específico 3

Para el desarrollo del presente objetivo se concatena toda la información previamente desarrollada en los primeros dos objetivos específicos, además se va propone el diseño de elementos de seguridad vial orientados a mejorar la seguridad y sostenibilidad vial urbana, así como a reducir los conflictos de tránsito en el cruce de las avenidas Pizarro y Avenida Guardia Civil y Hartley, ubicado en el Distrito de Paucarpata, provincia de Arequipa. Para esto se desarrolló un análisis técnico de las condiciones actuales de operación del nodo vial, identificando puntos críticos de interacción entre vehículos, transporte público y peatones. Este diagnóstico permitió reconocer deficiencias en la señalización, conflictos en los movimientos de giro, insuficiente canalización de flujos y riesgos asociados al cruce peatonal, factores que influyen directamente en la seguridad vial y en la sostenibilidad del sistema de movilidad urbana.

Con el objetivo específico se tiene como finalidad formular una propuesta integral de elementos de seguridad vial orientados a mejorar las condiciones de circulación, reducir los puntos de conflicto vehicular y peatonal, y contribuir a la sostenibilidad del sistema vial urbano en la intersección de las avenidas Pizarro, Hartley y Guardia Civil. Esta propuesta se fundamenta en los resultados obtenidos en el análisis de tránsito

Frente a esta problemática, la propuesta de diseño de seguridad vial se estructura bajo un enfoque de Sistema Seguro (Safe System), priorizando la reducción del riesgo de accidentes y la protección de los usuarios más vulnerables. Para ello, se plantean los siguientes componentes:

a) Señalización horizontal y vertical

Se propone la implementación de señalización conforme al Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, incluyendo líneas de carril, flechas direccionales, pasos peatonales tipo cebra, líneas de detención y señalización preventiva y reglamentaria. Esta medida permitirá ordenar los movimientos vehiculares y mejorar la percepción del conductor. El diseño incluye la instalación de señales verticales reglamentarias, preventivas e informativas, tales como:

- Señales de “Pare” o “Ceda el paso” en accesos secundarios.
- Señales de límite de velocidad en la zona de influencia.
- Señales preventivas de cruce de peatones.
- Señalización informativa para orientar rutas y accesos del intercambio vial.

Estas señales permiten regular el comportamiento del conductor, anticipar condiciones de riesgo y mejorar la toma de decisiones en la intersección, reduciendo la probabilidad de siniestros.

b) Canalización del tránsito vehicular

Se plantea el uso de islas canalizadoras y separadores físicos que permitan dirigir adecuadamente los flujos vehiculares, reduciendo los conflictos por cruces y giros indebidos. Estas soluciones contribuyen a disminuir la interferencia entre corrientes vehiculares y mejorar la fluidez del tránsito.

c) Implementación de semaforización optimizada

Se propone la incorporación y mejora del sistema semafórico con fases diferenciadas para movimientos conflictivos, especialmente para giros a la izquierda y cruces peatonales. La sincronización de los 3 semáforos con el sistema de programación inteligente que permitirá reducir tiempos de espera, minimizar colas y mejorar la seguridad en la intersección. En el intercambio vial propuesto se plantea tres semáforos que regulan la fluidez vehicular además permiten la fluidez peatonal sin interferencia con los vehículos. La implementación de semáforos en el sistema es indispensable.

d) Infraestructura peatonal segura

Se plantea la implementación de rampas accesibles, refugios peatonales en islas centrales y ampliación de veredas en puntos críticos, con el fin de garantizar cruces seguros y accesibilidad universal, priorizando a peatones, personas con discapacidad y adultos mayores. Considerando que la intersección presenta interacción constante entre peatones y vehículos, se plantea:

- Cruces peatonales seguros y visibles.
- Reducción de radios de giro en esquinas para disminuir velocidades.
- Ubicación estratégica de pasos peatonales en zonas de menor riesgo.

Estas medidas buscan priorizar al peatón como usuario vulnerable, reduciendo la exposición a accidentes y mejorando la accesibilidad urbana, en línea con el enfoque de movilidad sostenible.

e) Elementos de calmado de tráfico (traffic calming)

Se propone la incorporación de dispositivos como reductores de velocidad, bandas sonoras y señalización de zona de cruce, con el objetivo de disminuir

la velocidad de aproximación a la intersección, reduciendo la severidad de posibles accidentes.

Desde el enfoque de sostenibilidad vial, estas medidas no solo buscan mejorar la seguridad inmediata, sino también promover un sistema de transporte más ordenado, eficiente y seguro a largo plazo, reduciendo externalidades negativas como accidentes, tiempos de viaje excesivos y emisiones contaminantes asociadas a la congestión. A continuación se muestra el diseño de la intersección en tres tramos.

Figura 30

Señalización horizontal propuesta – tramo avenida Hartley

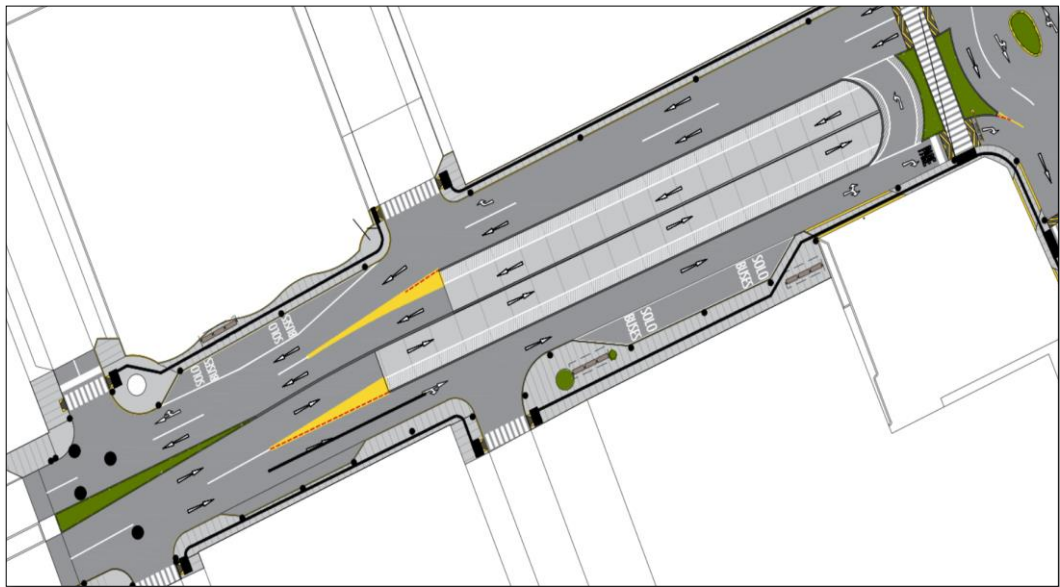
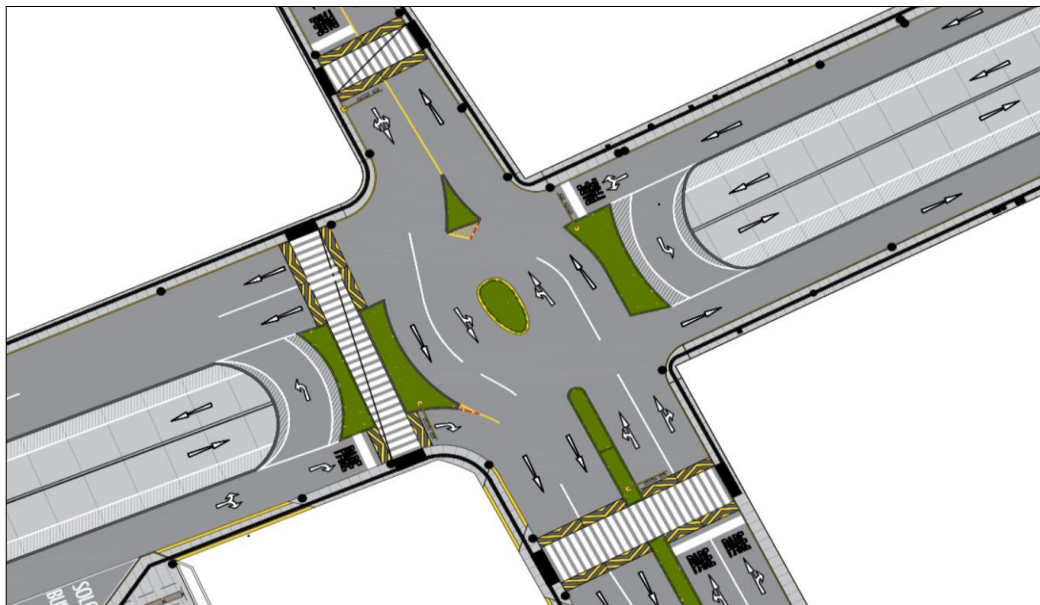
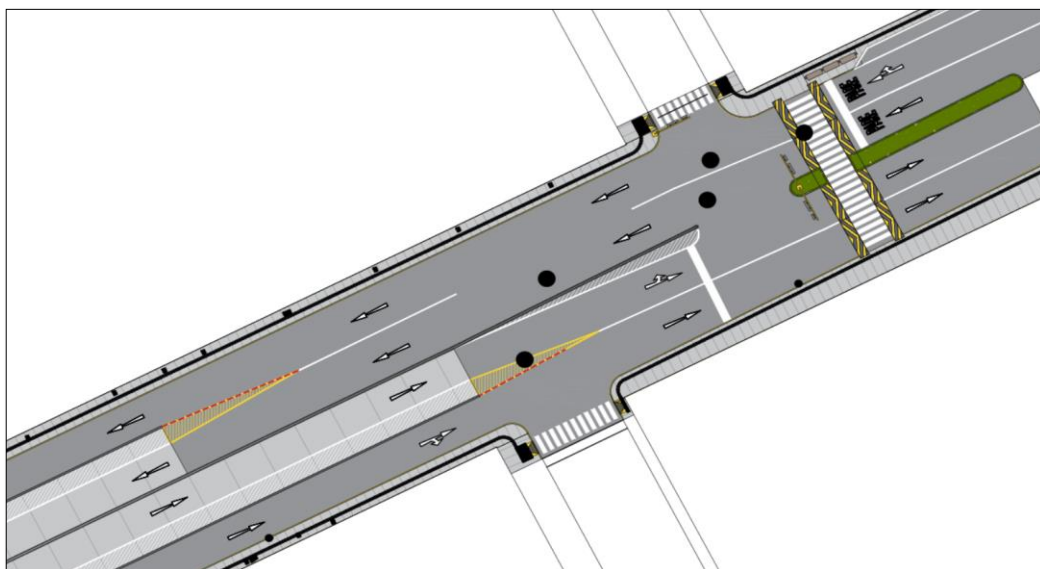


Figura 31

Señalización horizontal propuesta – intersección

**Figura 32**

Señalización horizontal – tramo av. Guardia Civil



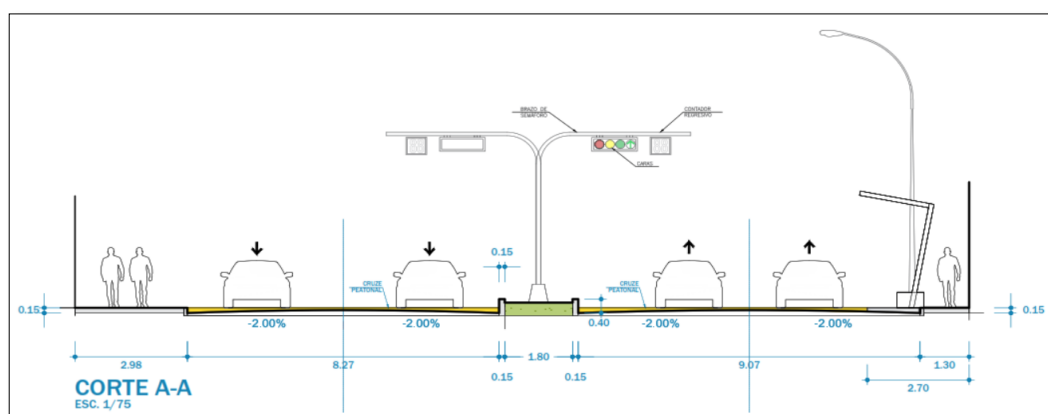
Con base en los resultados del diagnóstico y en los criterios técnicos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para el diseño de dispositivos de control del tránsito, se planteó una propuesta integral de

elementos de seguridad vial que incluye la implementación de señalización vertical reglamentaria, preventiva e informativa; señalización horizontal con demarcación de carriles, líneas de detención y cruces peatonales tipo cebra; así como dispositivos de canalización como islas de refugio peatonal, separadores de flujo y delineadores verticales. Asimismo, se contemplan mejoras en la visibilidad de la intersección, adecuación de radios de giro y medidas de ordenamiento del tránsito que favorezcan la reducción de velocidades operativas y la protección de usuarios vulnerables.

La propuesta busca fortalecer la seguridad vial mediante la organización clara de los movimientos de tránsito, la reducción de puntos de conflicto y la priorización de la movilidad peatonal, contribuyendo a una circulación más segura y predecible. En consecuencia, el diseño de los elementos de seguridad vial se configura como una intervención complementaria al rediseño geométrico de la intersección, orientada a mejorar las condiciones de operación del sistema vial urbano y promover una movilidad más segura, eficiente y sostenible en el sector de Paucarpata. El proyecto se configura con la señalización vertical y horizontal como se puede ver a continuación.

Figura 33

Señalización vertical propuesto



Señalización vertical

La señalización vertical constituye un componente esencial dentro del diseño del intercambio vial propuesto, al permitir la regulación, orientación y control del tránsito vehicular y peatonal en condiciones de seguridad y eficiencia. En este sentido, la propuesta contempla la implementación de tres (03) elementos semafóricos interconectados, los cuales estarán integrados a un sistema de control centralizado que permitirá su operación remota y sincronizada, además se propone integrar tres semáforos en la av. Guarida Civil con la intersección con la calle Cabo Pinto, con esto se optimiza los ciclos semafóricos en función de la demanda vehicular en tiempo real. Este sistema favorece la reducción de tiempos de espera, mejora la progresión del flujo vehicular y contribuye a mantener niveles de servicio adecuados en la intersección.

Asimismo, se plantea la instalación de señalización vertical reglamentaria, preventiva e informativa conforme a los lineamientos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, específicamente del Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, el cual establece criterios técnicos para la ubicación, diseño y visibilidad de las señales. En ese marco, se incorporarán señales en zonas estratégicas como paraderos de transporte público, donde se delimitarán áreas de ascenso y descenso de pasajeros, así como en reductores de velocidad, con el objetivo de advertir a los conductores sobre condiciones especiales de la vía y promover la disminución de la velocidad.

La adecuada disposición de estos elementos permitirá mejorar la percepción del usuario vial, reducir la probabilidad de accidentes y reforzar la seguridad vial en el entorno urbano. En conjunto, la señalización vertical propuesta se integra al diseño geométrico del intercambio vial como un sistema complementario que garantiza la correcta interpretación de la infraestructura, promoviendo un tránsito ordenado, seguro y eficiente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

Resultados:

El diseño propuesto de señalización horizontal y vertical, basado en los lineamientos del Manual de Dispositivos de Control del Tránsito, permite una organización clara de los movimientos vehiculares y peatonales, reduciendo la incertidumbre del conductor en la toma de decisiones dentro de la intersección. Considerando los altos volúmenes vehiculares obtenidos en el objetivo específico 1 (IMDA de hasta 31,068 veh/día), se evidencia que la ausencia de señalización adecuada constituye un factor crítico en la generación de conflictos. En este sentido, la incorporación de líneas de detención, pasos peatonales visibles y señalización reglamentaria contribuye directamente a disminuir los puntos de conflicto identificados en el análisis operativo, mejorando la seguridad vial y la eficiencia del flujo.

La implementación de elementos de canalización vehicular, como islas y separadores físicos, permite reducir los conflictos por giros y cruces indebidos, optimizando la trayectoria de los vehículos dentro de la intersección. Este resultado se relaciona con lo evidenciado en el objetivo específico 2, donde se identificaron múltiples puntos de conflicto debido a la geometría actual tipo cruz sin canalización. La propuesta genera una segregación funcional de flujos, lo que disminuye la interferencia entre corrientes vehiculares y mejora la capacidad operativa del nodo vial, reduciendo tiempos de cola y demoras excesivas previamente registradas (hasta 626 segundos).

La incorporación de semaforización optimizada y elementos de calmado de tráfico, junto con infraestructura peatonal segura, permite mejorar la sostenibilidad vial urbana al priorizar a los usuarios vulnerables y reducir la severidad de los accidentes. La sincronización semafórica y la implementación de fases diferenciadas contribuyen a reducir los tiempos de espera y mejorar la progresión vehicular, mientras que los reductores de velocidad y cruces seguros disminuyen la exposición al riesgo. Este conjunto de medidas no solo mejora la seguridad inmediata, sino que también reduce externalidades negativas como

congestión y emisiones, alineándose con un enfoque de movilidad urbana sostenible.

Validación:

Los resultados obtenidos en la presente investigación, respecto a la reducción de conflictos vehiculares y mejora de la seguridad mediante la implementación de señalización, semaforización y canalización del tránsito, guardan coherencia con lo señalado por Marca Castro, Joel Elvis (2025), quien en su tesis de maestría, *Implementación de metodología de evaluación en seguridad vial en intersecciones urbanas de la línea ferroviaria Tacna–Arica para reducir índices de peligrosidad*, desarrollada en la Universidad Privada de Tacna evidenció que la aplicación de metodologías de seguridad vial en intersecciones urbanas permite reducir significativamente los índices de peligrosidad, especialmente cuando se corrigen deficiencias en señalización y visibilidad. En dicho estudio se identificó que las intersecciones con baja organización geométrica y señalización inadecuada presentan mayor probabilidad de accidentes, mientras que la incorporación de dispositivos de control y ordenamiento del tránsito mejora la seguridad operativa. En comparación con el presente estudio, se observa coincidencia en que la intervención integral que incluye señalización, canalización y control semafórico constituye un factor determinante en la reducción de riesgos, validando así la pertinencia del diseño propuesto en la intersección de Paucarpata.

Los hallazgos relacionados con la necesidad de rediseñar elementos geométricos y de seguridad vial para reducir conflictos en intersecciones urbanas son consistentes con lo desarrollado por Aguirre Palomino, Alexis Rodrigo (2023), en su investigación *Estudio de la intersección de las avenidas Universitaria y Los Olivos: Impacto del diseño en la seguridad vial de una zona urbana*, quien analizó una intersección urbana en Lima y concluyó que los diseños viales deficientes generan riesgos constantes tanto para peatones

como para vehículos, siendo necesario incorporar mejoras en señalización, organización de flujos y control del tránsito. El autor demuestra que la modificación del diseño vial y la incorporación de elementos de seguridad permiten disminuir la peligrosidad y mejorar la operación del sistema. En ese sentido, los resultados del presente estudio coinciden en que la implementación de señalización horizontal, vertical, semaforización optimizada e infraestructura peatonal segura contribuye directamente a la reducción de conflictos, validando la propuesta como una solución técnica adecuada para mejorar la seguridad y sostenibilidad vial.

Los hallazgos relacionados con la necesidad de rediseñar elementos geométricos y de seguridad vial para reducir conflictos en intersecciones urbanas son consistentes con lo desarrollado por Aguirre Palomino, Alexis Rodrigo (2023), quien analizó una intersección urbana en Lima y concluyó que los diseños viales deficientes generan riesgos constantes tanto para peatones como para vehículos, siendo necesario incorporar mejoras en señalización, organización de flujos y control del tránsito. El autor demuestra que la modificación del diseño vial y la incorporación de elementos de seguridad permiten disminuir la peligrosidad y mejorar la operación del sistema. En ese sentido, los resultados del presente estudio coinciden en que la implementación de señalización horizontal, vertical, semaforización optimizada e infraestructura peatonal segura contribuye directamente a la reducción de conflictos, validando la propuesta como una solución técnica adecuada para mejorar la seguridad y sostenibilidad vial.

Asimismo, los resultados obtenidos en la presente investigación se encuentran en concordancia con lo expuesto por Burgos Ceballos, Andrea Yamilex (2024), quien en su estudio desarrollado en la Universidad del Cauca evidenció que las intersecciones urbanas presentan problemas de seguridad y eficiencia debido a altos volúmenes vehiculares y deficiente configuración de los elementos de control, identificando que variables como la semaforización, el diseño geométrico y la organización del tránsito influyen directamente en las

demoras, colas y comportamientos de riesgo de los usuarios. El estudio concluye que la optimización del ciclo semafórico y la implementación de intervenciones físicas (como redistribución de espacios y mejoras en infraestructura) permiten mejorar el nivel de servicio y la seguridad vial. En comparación con el presente trabajo, se observa una clara coincidencia en la importancia de integrar medidas de control, diseño geométrico y seguridad peatonal, lo cual respalda la propuesta planteada para la intersección de Paucarpata como una intervención técnicamente válida y alineada con evidencia reciente en contextos urbanos

4.2 ANÁLISIS DE IMPACTO, BENEFICIOS Y COMPARACIÓN CON CASOS SIMILARES

La propuesta realizada en la intersección vial de las avenidas Pizarro, Hartley y guardia civil tiene un impacto importante en el sistema vial de la ciudad de Arequipa, integrándose de forma óptima en el sistema vial, así como en el anillo vial de la red PE-34C.

Análisis de Impacto del Intercambio Vial

En este análisis de impacto se evaluó los efectos que genera la implementación del intercambio vial sobre el sistema de transporte vial y el entorno urbano en cuatro aspectos, los cuales detallo a continuación;

a) Impacto en la movilidad vehicular

- Reducción de congestión mediante separación de flujos (pasos a desnivel).
- Incremento de la capacidad vial (mayor flujo vehicular admisible).
- Disminución del tiempo de viaje en horas punta.
- Mejora del nivel de servicio (Level of Service - LOS) de la intersección.

b) Impacto en la seguridad vial

- Reducción de puntos de conflicto (de intersección a flujos segregados).
- Disminución de accidentes por eliminación de giros conflictivos.
- Mejora en la seguridad de peatones mediante pasos segregados.

c) Impacto urbano y ambiental

- Reducción de emisiones contaminantes por menor tiempo de detención.
- Posible impacto visual y ocupación de espacio urbano.
- Alteración temporal durante la fase constructiva.

d) Impacto socioeconómico

- Mejora en la conectividad urbana.
- Incremento del valor del suelo urbano en zonas aledañas.
- Reducción de costos operativos vehiculares (combustible, tiempo).

Beneficios del Intercambio Vial

El intercambio vial propuesto genera múltiples beneficios en términos de operación, seguridad ambiental, social y planificación urbana.

a) Beneficios operacionales

- Incremento de la velocidad promedio de circulación.
- Reducción de la demora vehicular.
- Disminución de la longitud de colas.
- Mejora del índice volumen/capacidad (v/c).

b) Beneficios en seguridad

- Reducción significativa de siniestros viales.
- Ordenamiento del tránsito vehicular y peatonal.
- Mayor previsibilidad en los movimientos de tránsito.

c) Beneficios ambientales

- Menor consumo de combustible.
- Reducción de emisiones de CO₂.
- Menor contaminación sonora en comparación con intersecciones congestionadas.

d) Beneficios sociales

- Mejor accesibilidad urbana.
- Reducción del estrés en conductores.
- Mejora en la calidad de vida de la población.

La implementación con recursos físicos y materiales permitirá mejorar las condiciones de transitabilidad de los pobladores de ambos distritos colindantes, así como de todos los usuarios de esta vía, en la reducción del tiempo de traslado con el uso del intercambio vial.

Comparación con Casos Similares

En términos de comparación con casos similares de implementación de intercambios viales en el sistema vial de transporte se ha obtenido resultados positivos de mejora, en tanto, a continuación, expongo casos de la ciudad de Arequipa.

Caso 1: en la ciudad de Arequipa, en la avenida los incas, con el cruce desde el pasaje Ronda La Isla hasta la avenida Jesús se encuentra la Interconexión Vial “Bicentenario”. Una obra de infraestructura vial que conecta los distritos de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, Mariano Melgar y Paucarpata. Este tipo de soluciones contribuye a la reducción de demoras, tiempos de viaje y niveles de congestión, al disminuir los puntos de conflicto y eliminar la necesidad de detenciones prolongadas por control semafórico (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020).

Caso 2: en la ciudad de Arequipa, en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero se ubica el intercambio vial de la avenida Dolores con la avenida Andrés Avelino Cáceres, esta infraestructura ha sido diseñada para acortar los tiempos de traslado, reducir la contaminación y mejorar la calidad del servicio vial. la implementación de infraestructura a desnivel y una adecuada configuración geométrica, lo que permite incrementar la fluidez vehicular en una zona de alta demanda. Desde un enfoque técnico, este tipo de soluciones contribuye a reducir la congestión y los tiempos de viaje al eliminar detenciones y conflictos propios de intersecciones semaforizadas, favoreciendo la continuidad del flujo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2020).

Caso 3: El intercambio vial ubicado en la intersección de la avenida Cayma con la avenida Ejército, en la ciudad de Arequipa, constituye una

infraestructura estratégica orientada a mejorar la fluidez del tránsito en uno de los principales ejes de conexión entre los distritos de Cayma, Yanahuara y el Cercado. Desde una perspectiva técnica, la implementación de pasos a desnivel y la reorganización de los flujos vehiculares ha permitido incrementar la capacidad operativa de la vía y reducir los niveles de congestión, generando mejoras en los tiempos de recorrido. En términos referenciales, este tipo de infraestructura puede lograr reducciones de entre 20 % y 35 % en los tiempos de viaje, así como incrementos en la velocidad promedio de circulación de aproximadamente 15 km/h a 25 km/h en horas punta, lo que evidencia una mejora significativa en el nivel de servicio (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2020).

La implementación del intercambio vial generaría impactos positivos en distintos niveles del sistema urbano. En términos de movilidad, permitiría reducir tiempos de viaje y mejorar la continuidad del tránsito en uno de los principales nodos congestionados del distrito de Paucarpata. Desde el punto de vista económico, disminuiría pérdidas asociadas a congestión, consumo excesivo de combustible y desgaste mecánico vehicular. En el ámbito ambiental, la reducción de detenciones prolongadas contribuiría a disminuir emisiones contaminantes y ruido urbano. Socialmente, la propuesta mejoraría accesibilidad, seguridad vial y calidad de vida de los usuarios.

4.3 LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y MEJORAS IDENTIFICADAS

Durante el desarrollo de la presente investigación se identificaron diversas limitaciones que incidieron en el proceso de recolección y análisis de la información. En primer lugar, se evidenció la dificultad para obtener información técnica oficial, específicamente planos actualizados de la intersección, por parte de las municipalidades distritales de José Luis Bustamante y Rivero y de Paucarpata, situación atribuida a procedimientos administrativos y barreras burocráticas que suelen restringir el acceso oportuno a información pública relevante para la planificación urbana (Defensoría del Pueblo, 2021). No obstante, con el propósito de garantizar la confiabilidad del

estudio, se optó por la realización de levantamientos de campo, incluyendo estudios topográficos y conteos vehiculares, lo que permitió disponer de información primaria y actualizada para el análisis del comportamiento del tránsito.

Asimismo, se identificaron limitaciones de carácter físico y urbano que condicionan la formulación del diseño vial propuesto. Entre ellas destaca la presencia del reservorio de Guardia Civil, infraestructura existente que no respeta el alineamiento de la avenida Pizarro, lo cual restringe la posibilidad de ampliar la sección transversal de la vía y obliga a mantener las condiciones geométricas actuales en el modelamiento y diseño (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2020). De igual manera, los límites prediales de las viviendas ubicadas en el entorno inmediato de la intersección constituyen una restricción adicional para la expansión de la infraestructura vial, debido a la necesidad de evitar procesos de expropiación y conflictos urbanos.

En este contexto, a pesar de las limitaciones señaladas, el estudio logró identificar oportunidades de mejora basadas en el uso eficiente del espacio disponible, priorizando soluciones técnicas viables que optimicen la circulación vehicular y la seguridad vial sin requerir ampliaciones significativas de la sección existente, lo que resulta coherente con enfoques de planificación urbana sostenible y gestión eficiente del espacio público.

4.4 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA Y SU IMPLEMENTACIÓN

La presente investigación propone como solución técnica la implementación de un intercambio vial en la intersección de las avenidas Hartley, Pizarro y Guardia Civil, con el objetivo de optimizar la fluidez vehicular y reducir los niveles de congestión dentro de las condiciones geométricas actuales de la vía. La propuesta se fundamenta en el aprovechamiento del desnivel topográfico existente, planteando la construcción de un paso a desnivel tipo “zanjón” en el eje principal de la avenida Hartley – Guardia Civil, lo que permitirá la

circulación continua del flujo vehicular sin interferencias semaforizadas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2020). Este paso deprimido contempla la habilitación de dos carriles, uno en sentido hacia el sector del MTC y otro en sentido de retorno, tomando como referencia el entorno del parque Los Coritos, garantizando así la continuidad del tránsito en el eje de mayor demanda.

En superficie, el diseño incorpora vías laterales complementarias destinadas a la distribución del tráfico local y a la conexión con la avenida Pizarro, incluyendo carriles de derivación debidamente segregados que permiten canalizar los movimientos de giro sin interferir con el flujo principal. Asimismo, se plantea la organización funcional de carriles diferenciados para transporte público y privado, así como la incorporación de elementos de seguridad vial, tales como señalización horizontal y vertical, con el fin de mejorar la operación y reducir los puntos de conflicto. De acuerdo con la planimetría del proyecto, la solución se adapta a la sección vial existente, considerando las restricciones físicas del entorno urbano, lo que permite su viabilidad técnica sin requerir ampliaciones significativas ni afectaciones mayores a la infraestructura colindante.

El intercambio vial organiza los sentidos de circulación bajo un enfoque de jerarquización y segregación de flujos, donde:

- La Avenida Guardia Civil mantiene un flujo continuo y prioritario (eje principal).
- La Avenida Pizarro distribuye el tránsito mediante movimientos controlados (eje secundario).
- La Avenida Hartley facilita el acceso local con mínima interferencia (vía complementaria).

Esta configuración permite reducir significativamente los puntos de conflicto, mejorar la fluidez vehicular y optimizar la capacidad operativa del sistema vial,

cumpliendo con principios de diseño geométrico como continuidad del flujo, control de accesos y seguridad vial.

Avenida Guardia Civil (Eje Principal)

La Avenida Guardia Civil constituye el eje estructurante del intercambio vial, con un sentido de circulación bidireccional claramente segregado, donde cada sentido dispone de múltiples carriles que permiten mantener un flujo continuo y de alta capacidad, en esta avenida se propone que:

- Los movimientos directos (rectos) son predominantes y se desarrollan sin interrupciones, lo que indica una priorización del flujo longitudinal.
- Se incorporan carriles exclusivos para transporte público (solo buses), lo cual mejora la eficiencia del sistema de transporte urbano y reduce interferencias con el tráfico general.
- Los giros a la izquierda son restringidos o canalizados, evitando cruces conflictivos a nivel; estos movimientos son redirigidos mediante accesos controlados o soluciones indirectas.
- Los giros a la derecha se realizan mediante carriles auxiliares, permitiendo una salida progresiva del flujo sin afectar la corriente principal.
- Existe una clara separación física o funcional entre sentidos opuestos, lo que reduce el riesgo de colisiones frontales y mejora la seguridad vial.

En términos de diseño geométrico, esta vía mantiene condiciones de flujo continuo tipo arterial, con control de accesos y minimización de interferencias, permitiendo velocidades operativas más altas y una mejor relación volumen/capacidad.

Avenida Pizarro (Eje Transversal de Distribución)

La Avenida Pizarro funciona como eje transversal que conecta diferentes sectores urbanos con la vía principal, presentando también un sentido

bidireccional, pero con un comportamiento más controlado en sus movimientos.

En esta avenida se propone que:

- Los movimientos directos en ambos sentidos están permitidos, pero condicionados por la interacción con la vía principal.
- Los giros a la izquierda presentan restricciones o redireccionamientos, lo cual reduce los puntos de conflicto con el flujo longitudinal de la Avenida Guardia Civil.
- Se implementan carriles de almacenamiento o espera para giros, permitiendo ordenar el flujo y evitar bloqueos en los carriles principales.
- Los giros a la derecha se canalizan mediante carriles exclusivos, facilitando la incorporación progresiva al flujo principal.
- La intersección deja de operar como cruce convencional, pasando a un esquema de intersección canalizada o parcialmente segregada.

Desde el punto de vista funcional, esta vía cumple un rol de distribución del tránsito, adaptándose a las condiciones impuestas por la vía principal y reduciendo la interferencia directa mediante el control geométrico de sus movimientos.

Avenida Hartley (Vía Secundaria de Acceso Local)

La Avenida Hartley se configura como una vía de menor jerarquía, con sentido bidireccional, cuya función principal es la accesibilidad a zonas urbanas colindantes. En esta avenida se propone que:

- Sus movimientos están subordinados a las vías principales, con accesos controlados hacia la Avenida Guardia Civil y Avenida Pizarro.
- Se limita la posibilidad de movimientos directos conflictivos, priorizando incorporaciones seguras mediante carriles de aceleración o desaceleración.

- Los giros están canalizados, evitando cruces directos que interfieran con los flujos de mayor volumen.
- La vía presenta un esquema de accesibilidad controlada, donde el ingreso y salida al sistema principal se realiza de manera ordenada.
- Se reduce su impacto en la operación general del intercambio, actuando como vía de soporte.

En términos de diseño, esta vía responde a un enfoque de tránsito local regulado, donde la prioridad es la seguridad y la integración funcional con el sistema vial mayor.

En cuanto a su implementación, la propuesta puede desarrollarse de manera progresiva, priorizando la construcción del paso a desnivel como eje estructurante, seguido de la adecuación de vías laterales y la implementación de dispositivos de control y seguridad vial. En este contexto, la solución planteada responde a criterios de eficiencia, sostenibilidad y optimización del espacio urbano, constituyéndose en una alternativa viable para mejorar la movilidad en una intersección de alta demanda vehicular.

La propuesta presenta sostenibilidad técnica y operativa debido a que incrementa capacidad vial sin requerir intervenciones recurrentes de corto plazo. Asimismo, posee una vida útil proyectada superior a veinte años, siempre que se ejecuten programas periódicos de mantenimiento estructural, pavimentos, drenaje y señalización. El proyecto también resulta sostenible desde el enfoque urbano, al integrarse con el crecimiento futuro de la ciudad y permitir posteriores mejoras tecnológicas en gestión del tránsito.

4.5 EVALUACIÓN DE COSTOS, SOSTENIBILIDAD Y VIABILIDAD A LARGO PLAZO

Evaluación de costos

La evaluación integral del proyecto de tesis, orientado a la propuesta de un intercambio vial en el cruce de las avenidas Avenida Pizarro, Avenida Guardia

Civil y Avenida Hartley, ubicado en el límite de los distritos de Distrito de Paucarpata y Distrito de José Luis Bustamante y Rivero, provincia de Arequipa, comprende el análisis de la inversión requerida para la elaboración de los estudios complementarios necesarios para la formulación del expediente técnico. Estos estudios incluyen, entre otros, el levantamiento topográfico, estudios de tránsito, análisis de suelos, diseño geométrico, estudio hidráulico, señalización vial, impacto ambiental y evaluación económica del proyecto. En ese sentido, se debe considerar que, a la fecha, el Sistema de Seguimiento de Inversiones del Ministerio de Economía y Finanzas registra como viable un proyecto de inversión pública relacionado con la problemática abordada en la presente investigación, identificado con Código Único de Inversión (CUI) N.º 2671751, por lo tanto, es viable la investigación e implementación en el sistema vial urbano de la ciudad de Arequipa.

En consecuencia, la materialización de la propuesta se encuentra enmarcada dentro de los lineamientos del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones – Invierte.pe, lo cual implica que la formulación del expediente técnico deberá ser desarrollada conforme a las disposiciones normativas vigentes. En este contexto, la evaluación de costos para la implementación del proyecto deberá ser asumida por la Municipalidad Provincial de Arequipa, en coordinación con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, considerando la jerarquía de la vía como parte de la red vial nacional. Por tanto, los costos estimados deben guardar coherencia con los parámetros técnicos, económicos y presupuestales establecidos por el sistema Invierte.pe, asegurando la sostenibilidad financiera y la correcta asignación de recursos públicos (Ministerio de Economía y Finanzas, 2023).

Figura 34

Datos de la fase de formulación del invierte.pe

Tipo de factor productivo	Periodos						Costo estimado de inversión a precios de mercado (soles)
	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 5	Trimestre 6	
Infraestructura	0.00	0.00	5,425,101.29	5,425,101.29	5,425,101.29	5,425,101.30	21,700,405.17
Mobiliario	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	313,646.71	313,646.71
Subtotal	0.00	0.00	5,425,101.29	5,425,101.29	5,425,101.29	5,738,748.01	22,014,051.88
Gestion del proyecto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Expediente técnico	164,510.72	164,510.73	0.00	0.00	0.00	0.00	329,021.45
Supervisión	0.00	0.00	50,057.50	50,057.50	50,057.50	50,057.51	200,230.01
Liquidación	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Subtotal	164,510.72	164,510.73	50,057.50	50,057.50	50,057.50	50,057.51	529,251.46
Costo de inversión viable	164,510.72	164,510.73	5,475,158.79	5,475,158.79	5,475,158.79	5,788,805.52	22,543,303.34
Costo de control concurrente (CCC)							112,716.50
Costo total de inversión viable							22,656,019.84

Sostenibilidad y viabilidad a largo plazo

Respecto a la sostenibilidad del proyecto, se analiza su capacidad para mantener condiciones óptimas de operación en el tiempo, considerando criterios de sostenibilidad económica, social y ambiental. Desde el punto de vista económico, el proyecto resulta sostenible al generar ahorros en los costos de operación vehicular, tales como consumo de combustible y tiempo de viaje, así como la reducción de pérdidas económicas asociadas a la congestión y la disminución de accidentes de tránsito. En el ámbito social, la implementación del intercambio vial contribuye a mejorar la accesibilidad, fortalecer la seguridad vial y elevar la calidad de vida de los usuarios, al proporcionar condiciones de circulación más seguras y eficientes.

En el aspecto ambiental, la optimización del flujo vehicular mediante la reducción de detenciones y tiempos de espera favorece la disminución de emisiones contaminantes y ruido urbano; no obstante, se deberán contemplar medidas de mitigación durante la fase constructiva, a fin de minimizar impactos negativos en el entorno inmediato.

En relación con la viabilidad a largo plazo, el proyecto presenta condiciones favorables debido a su alineación con las dinámicas de crecimiento

urbano y el incremento del parque automotor en la ciudad de Arequipa. La propuesta del intercambio vial permitirá absorber la demanda futura proyectada, manteniendo niveles de servicio adecuados en un horizonte de diseño estimado entre 15 y 20 años. Asimismo, la viabilidad técnica se sustenta en la aplicación de criterios normativos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mientras que la viabilidad operativa se garantiza mediante la incorporación de sistemas de señalización inteligente y estrategias de gestión del tránsito. En conjunto, estos elementos consolidan la propuesta como una alternativa técnica, económica y socialmente viable para la optimización del sistema vial urbano.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se determinó que la intervención mediante el diseño geométrico vial en la intersección de las avenidas Pizarro, Guardia Civil y Hartley influye de manera directa en la eficiencia del flujo vehicular, evidenciándose una reducción de los puntos de conflicto de un 59% en el recorrido del tramo P1-P2, de un 57% en el recorrido del tramo P2-P1, de un 43% en el recorrido del tramo C1-C2 y finalmente de un 35% del recorrido en el tramo de C2-C1. La mejora en la continuidad de circulación y disminución de las demoras operativas son positivas. El rediseño de carriles, radios de giro y canalización del tránsito permite optimizar el desempeño de la intersección, incrementando la fluidez vehicular y elevando el nivel de servicio.
2. Se determinó que la capacidad proyectada del intercambio vial propuesto es suficiente para absorber la demanda vehicular actual y futura, evidenciando una mejora significativa en la relación volumen/capacidad y en los indicadores de nivel de servicio. Los resultados de la simulación muestran una reducción en la saturación de la intersección y una mejora en los tiempos de viaje, lo que confirma la eficiencia operativa del diseño propuesto frente al escenario sin intervención.
3. Se concluye que la incorporación de elementos de seguridad vial, tales como señalización horizontal y vertical, dispositivos de canalización y adecuación geométrica, contribuye significativamente a la reducción de conflictos vehiculares y peatonales. Estas medidas mejoran la legibilidad de la vía, incrementan la seguridad del usuario y favorecen una circulación más ordenada, consolidando un sistema vial más seguro y sostenible.
4. Se concluye que el diseño del intercambio vial propuesto para la intersección de las avenidas Pizarro, Guardia Civil y Hartley constituye una

solución técnica integral que optimiza el sistema vial urbano, al mejorar la capacidad operativa, reducir las demoras vehiculares, incrementar la fluidez del tránsito y fortalecer la seguridad vial. La propuesta demuestra ser técnica, funcional y operativamente viable, aportando una alternativa eficiente para la gestión del tránsito en zonas urbanas de alta congestión y contribuyendo al desarrollo de una movilidad urbana más sostenible en la ciudad de Arequipa.

1. Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Arequipa, a través de la Gerencia de Desarrollo Urbano, y al Ministerio de Transportes y Comunicaciones, priorizar la implementación del diseño del intercambio vial propuesto en la intersección de las avenidas Pizarro, Guardia Civil y Hartley, considerando su impacto positivo en la reducción de la congestión vehicular y mejora del nivel de servicio. Asimismo, se sugiere incorporar sistemas inteligentes de transporte (ITS) que permitan la gestión eficiente del tráfico en tiempo real, así como desarrollar estudios complementarios de impacto ambiental, social y económico que garanticen la sostenibilidad del proyecto. Finalmente, se recomienda integrar esta propuesta dentro de los instrumentos de planificación urbana y de movilidad sostenible, con el fin de replicar soluciones similares en otras intersecciones críticas de la ciudad.
2. Se recomienda a los futuros investigadores profundizar en la aplicación de metodologías cuantitativas avanzadas, incorporando modelos de microsimulación calibrados con mayor rigor estadístico, tales como la validación mediante indicadores como GEH, RMSE o análisis de sensibilidad. Asimismo, se sugiere que dedique tiempo a ampliar el horizonte de análisis considerando escenarios multimodales que incluyan transporte público, peatones y ciclistas, así como integrar variables ambientales y de sostenibilidad. Del mismo modo, se recomienda el uso de herramientas complementarias de análisis como modelos de emisión vehicular y sistemas de información geográfica (SIG), que permitan una evaluación más integral del impacto de las propuestas de ingeniería vial.
3. Se recomienda a los académicos e investigadores continuar desarrollando estudios aplicados en el ámbito de la ingeniería de transportes, orientados a la solución de problemas reales de movilidad urbana en ciudades intermedias del Perú. Asimismo, se sugiere fortalecer la investigación interdisciplinaria que integre planificación urbana, ingeniería vial, sostenibilidad ambiental y tecnologías inteligentes, promoviendo la generación de evidencia científica que respalde la toma de decisiones en

políticas públicas. Finalmente, se recomienda fomentar la articulación entre universidades, entidades públicas y organismos técnicos, con el propósito de impulsar proyectos de investigación aplicada que contribuyan al desarrollo de sistemas de transporte más eficientes, seguros y sostenibles.

REFERENCIAS

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2025). *Perú implementará el uso de tecnologías inteligentes en carreteras para un tránsito más seguro* [Nota de prensa]. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/1119000-peru-implementara-el-uso-de-tecnologias-inteligentes-en-carreteras-para-un-transito-mas-seguro>
- Agrahari, A., Dhabu, M. M., Deshpande, P. S., Tiwari, A., Baig, M. A., & Sawarkar, A. D. (2024). *Artificial intelligence-based adaptive traffic signal control system: A comprehensive review*. *Electronics*, 13, 3875. <https://doi.org/10.3390/electronics13193875>
- Escobedo Ascanio, P. J. (2022). *Análisis de la problemática del transporte público en la autopista México-Querétaro en los municipios de Cuautitlán Izcalli, Tlalnepantla de Baz y Naucalpan de Juárez en el Estado de México: La penuria de la movilidad de los usuarios* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000832842>
- Navarro Quesada, D., Acosta, C., Aulestia, D., & Jauregui-Fung, F. (2022). *Informe de resultados del encuentro: Movilidad urbana sostenible. Un diálogo interregional sobre la industria y el financiamiento del transporte público colectivo* (LC/TS.2022/123). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48083-informe-resultados-encuentro-movilidad-urbana-sostenible-un-dialogo>
- John W. Creswell, & J. David Creswell. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). SAGE Publications. <http://repositorio.ciem.ucr.ac.cr/bitstream/123456789/514/1/Research%20Design.pdf>

- European Environment Agency. (2023). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023: Technical guidance to prepare national emission inventories* (EEA Report 06/2023).
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/external/copert-emission-factors>
- Parlamento Europeo, & Consejo de la Unión Europea. (2010). *Directiva 2010/40/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 7 de julio de 2010, por la que se establece el marco para la implantación de los sistemas de transporte inteligentes en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte*. Diario Oficial de la Unión Europea. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?from=CS&uri=CELEX%3A32010L0040>
- Göttlich, S., Herty, M., & Ulke, A. (2025). *Speed limits in traffic emission models using multi-objective optimization*. Optimization and Engineering, 26, 199–227. <https://doi.org/10.1007/s11081-024-09894-4>
- Tello Gutiérrez, A. J. N. (2018). *Evaluación y mejora de la seguridad vial peatonal y el nivel de servicio en la intersección de las avenidas Los Alisos y Túpac Amaru* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/31c3fc96-a2bd-41cd-a993-b2a434e9b075/content>
- Prapaporn, W., Chaipanha, W., & Kaewwichian, P. (2025). *A multi-criteria decision-making approach of transport intersection toward sustainable urban transport index*. Ain Shams Engineering Journal, 16(8), 103453. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103453>
- Instituto Peruano de Economía. (2025, octubre 28). *En los últimos diez años, el parque automotor en Lima creció 40%, pero la red vial apenas 7%*. <https://ipe.org.pe/en-los-ultimos-diez-anos-el-parque-automotor-en-lima-crecio-40-pero-la-red-vial-apenas-7/>

- Organización Internacional de Normalización. (2020). *Intelligent transport systems — Reference model architecture(s) for the ITS sector — Part 5: Requirements for architecture description in ITS standards* (ISO 14813-5:2020).
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/73746/dd8706a7506540098b7be643943f0071/ISO-14813-5-2020.pdf>
- The Intelligent Transportation Society of America. (2025). ITS technology use case library: Using data to implement safety countermeasures (pp. 20–21).
<https://itsa.org/wp-content/uploads/2025/06/ITSA-Use-Case-Library-2025-COPY.pdf>
- Kazimi, S. A. (2023). *Operational analysis of the flipped left diamond interchange design* [Tesis de maestría, Texas Southern University]. Digital Scholarship Texas Southern University.
<https://digitalscholarship.tsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1053&context=theses>
- Cerrón Valdivia, J. A., Pérez de Cuéllar Lubienska, H., Navarro Franco, H. J., Villón Román, H. M., Valdivia Alatrística, C. M., & equipo de elaboración. (2024). *Manual para la elaboración de planes de movilidad urbana sostenible - PMUS* [Manual técnico]. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. https://www.urbanistasperu.org/cendoc-surp/MANUALES/Manual_PMUS_RM_229-2024-VIVIENDA.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Decreto Supremo N° 029-2021-MINAM, que modifica el Decreto Supremo N° 010-2017-MINAM, que establece Límites Máximos Permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores* [Decreto Supremo]. El Peruano.
<https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2213166-029-2021-minam>

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2003). *Decreto Supremo N° 058-2003-MTC, que aprueba el Reglamento Nacional de Vehículos* [Decreto Supremo].
<https://portal.mtc.gob.pe/transportes/terrestre/licencias/documentos/D.S.%20058-2003-MTC%20Reglamento%20Nacional%20de%20Veh%C3%ADculos.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras* [Manual técnico].. Resolución Directoral N.º 16-2016-MTC/14.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_6%20DCT-2016.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Desarrollo de la arquitectura y plan de sistemas inteligentes de transporte (ITS) de Perú: Informe n°6: Plan maestro ITS* [Informe técnico].
https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/files/estudios/Informe_6 ITS.pdf
- Mills, T. D. (2024). *Assessing the impacts of CAVs on a coordinated signalized corridor* [Tesis de maestría, Boise State University]. Boise State University Graduate College.
<https://scholarworks.boisestate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3411&context=td>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2023, junio 7). *MTC inicia una reforma para modernizar el transporte público en todo el país* [Noticia]. Gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/1346909-mtc-inicia-una-reforma-para-modernizar-el-transporte-publico-en-todo-el-pais>
- Mango Michue, A. H. (2023). *Propuesta de rediseño vial de la intersección de la Carretera Central y la avenida Andrés Avelino Cáceres mediante microsimulación* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del

Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/bitstreams/792af88e-394d-4d57-a9ef-f2e96eae744c/download>

Acuña Supo, S. M. (2023). *Optimización del flujo vehicular y mejora del servicio peatonal en la intersección vial de jirón Vilcabamba y jirón Machupicchu en la ciudad de Quillabamba* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/bitstreams/3903c566-9be1-42ac-842b-1876f5748851/download>

Acosta Ordoñez, L. A. (2020). *Propuesta vial para mejorar la transitabilidad vehicular en la intersección de las avenidas Prolongación Francisco Bolognesi y José Leonardo Ortiz en la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque* [Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres]. https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/7076/acosta_ola.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Marca Castro, J. E. (2025). *Implementación de metodología de evaluación en seguridad vial en intersecciones urbanas de la línea ferroviaria Tacna–Arica para reducir índices de peligrosidad* [Tesis de maestría, Universidad Privada de Tacna]. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/4097>

Aguirre Palomino, A. R. (2023). *Estudio de la intersección de las avenidas Universitaria y Los Olivos: Impacto del diseño en la seguridad vial de una zona urbana* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/24312>

Burgos Ceballos, A. Y. (2024). *Análisis de tránsito y seguridad vial en intersecciones aledañas a instituciones educativas: Estudio de caso sector Tulcán de la Universidad del Cauca – Popayán* [Trabajo de grado, Universidad del Cauca]. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/10101>

APÉNDICE

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
INTERROGANTE PRINCIPAL ¿Cómo se diseña una propuesta de intercambio vial para optimizar el sistema vial urbano en el cruce de avenidas Pizarro-Guardia Civil en el distrito de Paucarpata, Arequipa 2025? INTERROGANTES ESPECÍFICAS • ¿De qué manera la propuesta del diseño geométrico vial interviene en la eficiencia del flujo vehicular en el cruce de avenidas Pizarro-Guardia Civil, Distrito de Paucarpata, Arequipa, 2025? • ¿Cómo se determina la capacidad proyectada del intercambio vial que contribuya a mejorar la capacidad operativa del sistema vial urbano en el cruce de las avenidas Pizarro y Guardia Civil, distrito de Paucarpata, Arequipa – 2025? • ¿Cómo se diseña una propuesta de elementos de seguridad vial urbana que mejore la seguridad y sostenibilidad vial y reduce los conflictos en el cruce de las avenidas Pizarro y Guardia Civil, distrito de Paucarpata, Arequipa – 2025?	OBJETIVO GENERAL Proponer el diseño de intercambio vial para optimizar el sistema vial urbano en el cruce de avenidas Pizarro-Guardia Civil en el distrito de Paucarpata, Arequipa 2025 OBJETIVOS ESPECÍFICOS • Determinar el nivel de intervención de la propuesta del diseño geométrico vial en la eficiencia del flujo vehicular en el cruce de avenidas Pizarro-Guardia Civil, Distrito de Paucarpata, Arequipa, 2025 • Determinar la capacidad proyectada del intercambio vial que contribuye a mejorar la capacidad operativa del sistema vial urbano en el cruce de las avenidas Pizarro y Guardia Civil, distrito de Paucarpata, Arequipa – 2025 • Proponer el diseño de elementos de seguridad vial urbana para la mejora la seguridad y sostenibilidad vial y reducción de conflictos en el cruce de las avenidas Pizarro y Guardia Civil, distrito de Paucarpata, Arequipa – 2025.	Variable independiente (X) X: Sistema vial urbano Dimensión: • Fluidez vehicular • Capacidad operativa del sistema • Seguridad vial urbana Indicadores: • Tiempos de demora promedio, velocidad promedio, nivel de servicio. • Volumen vehicular atendido, reducción de congestión, flujo continuo. • Reducción de accidentes, mejora en señalización y visibilidad, reducción de puntos de conflicto críticos, integración con el entorno urbano y accesibilidad. Variable dependiente (Y) Y: Propuesta de intercambio vial Dimensión: • Diseño geométrico vial • Capacidad y flujo vehicular • Seguridad vial • Viabilidad técnica y económica Indicadores: • Geometría de los carriles (Radios de giro, sección transversal, longitud y pendiente del carril), Tipo de intersección, niveles de servicio de acceso y ramal, señalización y demarcación. • Capacidad vial (VPH), Volumen/capacidad ratio, horario, longitud de colas promedio/máximo • Número de conflictos vehiculares, diseño y ubicación de señalización vertical y horizontal, visibilidad, elementos de contención, cruces peatonales seguros • Costo estimado de implementación, relación beneficio/costo, factibilidad constructiva.	Tipo de investigación Aplicada -Enfoque de investigación Cuantitativo -Nivel de investigación Aplicativo -Diseño de la investigación No experimental -Ámbito de estudio Intersección de las avenidas Pizarro, con guardia civil, en el límite de los distritos de José Luis Bustamante y Rivero y Paucarpata, de la provincia de Arequipa, departamento de Arequipa. -Población La población del transporte vehicular del sector público y privado -Muestra Por ser un proyecto de diseño tomara como muestra el rango de dos horas críticas en los espacios de la mañana y la tarde. Técnicas de recolección de datos Unidad muestral: tipo de vehículo Unidad de análisis: tiempo critico Técnicas: Análisis documental Observación de conteo vehicular Técnica de simulación virtual Instrumentos Ficha documental Ficha de observación de conteo vehicular Fichas de registro físico y virtual de modelado Equipos y herramientas virtuales Programas de cómputo; PT visim y Sinchro Traffic ware.
Relevancia de la investigación: Es relevante por la propuesta de diseño de un intercambio vial para optimizar el flujo vehicular bajo un sistema vial urbano en una intersección crítica de Arequipa. El proyecto se alinea al ODS 11 y ODS (19) y el desarrollo en infraestructura resiliente y sostenible.			

Instrumentos utilizados

FICHA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO

Títulos del estudio:

PROPUESTA DE INTERCAMBIO VIAL PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA VIAL URBANO EN EL CRUCE DE AVENIDAS PIZARRO-GUARDIA CIVIL, DISTRITO DE PAUCARPATA, AREQUIPA 2025.

Fecha de observación :

Hora de inicio :

Hora de termino :

1. INTERSECCIÓN EN OBSERVACIÓN (Marcar las que correspondan y agregar observaciones)

Avenidas de la intersección :

Tipo de vía: ☐ Nacional ☐ Arterial ☐ Colectora ☐ Local

Sentido de circulación: ☐ Unidireccional ☐ Bidireccional

2. CONTEO DEL FLUJO VEHICULAR POR HORA



REPUBLICA DEL PERU

FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO

FORMATO N° 1



Ministerio de Transportes y Comunicaciones
OFICINA DE PLANIFICACION Y PRESUPUESTO
DIRECCION DE INFORMACION DE GESTION

TRAMO DE LA CARRETERA		
SENTIDO	E ←	→ S
UBICACIÓN		

ESTACION		
CODIGO DE ESTACION		
FECHA		

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER			
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
....	E																			
A																				
....	S																			

3. CONDICIONES DE INFRAESTRUCTURA (Marcar las que correspondan y agregar observaciones)

▪ Estado del pavimento: ☐ Bueno ☐ Regular ☐ Malo

- Presencia de baches: ☐ Sí ☐ No
- Señalización horizontal: ☐ Visible ☐ Desgastada ☐ Ausente
- Semaforización: ☐ Operativa ☐ Deficiente ☐ Inexistente
- Presencia de paraderos: ☐ Formales ☐ Informales ☐ Ninguno
- Interferencia de comercio informal: ☐ Alta ☐ Media ☐ Baja ☐ Nula

4. PROBLEMÁTICA DE LA VÍA EN OBSERVACIÓN (Marcar las que correspondan y agregar observaciones)

- ☐ Congestión vehicular
- ☐ Tiempos prolongados de espera
- ☐ Cruces peatonales peligrosos
- ☐ Paraderos no respetados
- ☐ Transporte informal
- ☐ Alta presencia de mototaxis
- ☐ Bloqueo de intersecciones
- ☐ Otras: _____

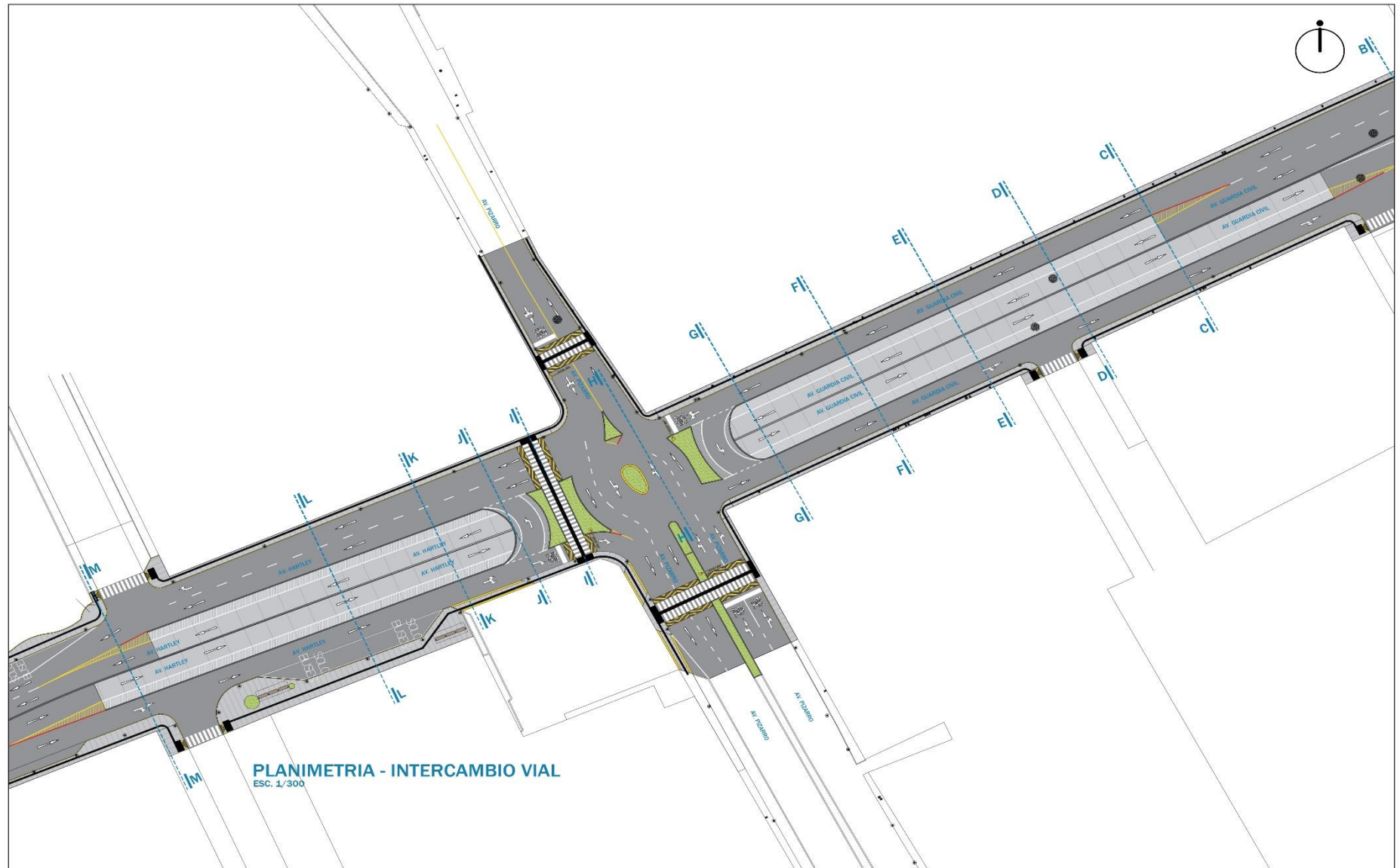
5. OTRAS OBSERVACIONES

Matriz de información recopilada**PROYECCION DE TRAFICO NORMAL ESTACION CON TRAFICO GENERADO**

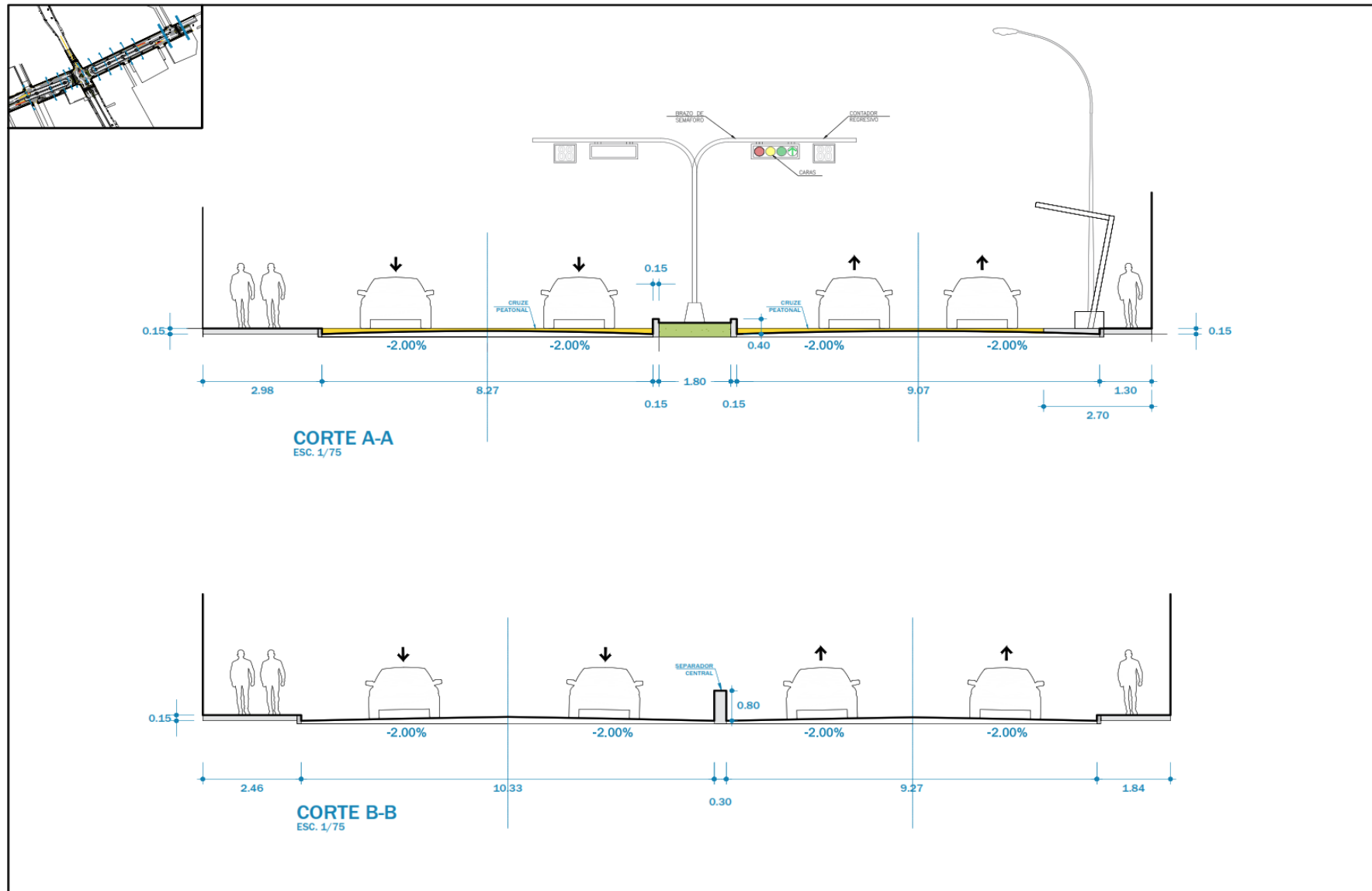
Tipo de Vehículo	Tráfico Vehicular en dos sentidos por Día							TOTAL	IMDs	FC	IMDa
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	SEMANA			
Automóvil	17580	11782	16560	16190	16247	15641	14240	108240	15463	1.133989	17535
Station wagon	278	172	255	253	277	245	219	1699	243	1.133989	275
Camioneta	691	241	504	497	556	483	367	3339	477	1.133989	541
C.R.	363	210	363	372	172	389	325	2194	313	1.133989	355
Micro	1489	1177	1510	1504	1553	1406	1381	10020	1431	1.133989	1623
Bus Grande	1712	1181	1220	1083	1046	1003	882	8127	1161	1.133989	1317
Camión 2E	55	20	29	42	49	59	71	325	46	0.95346	44
Camión 3E	81	39	56	51	68	63	52	410	59	0.95346	56
Semitrayler	48	48	48	48	48	48	48	336	48	0.95346	46
Tráiler	8	10	16	18	21	24	16	113	16	0.95346	15
TOTAL	22,305	14,880	20,561	20,058	20,037	19,361	17,601	134,803	19,193		21,807

Anexos - Planos

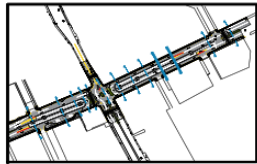
ANEXO N°1: Plano de planta



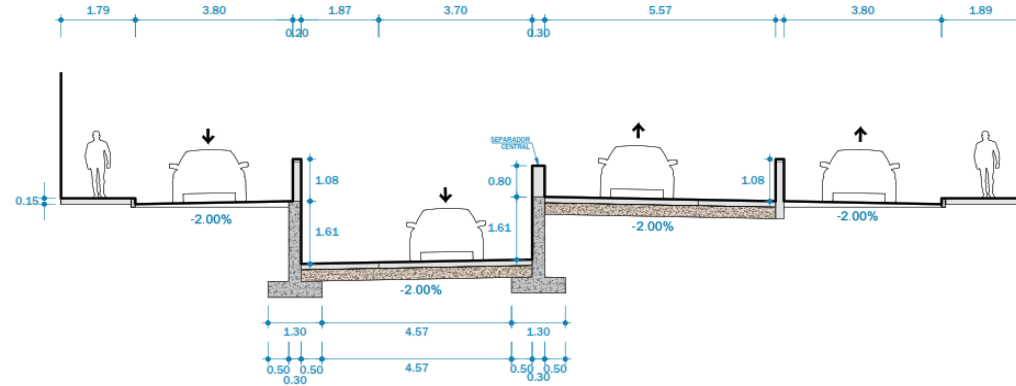
ANEXO N°2: Plano de secciones transversales



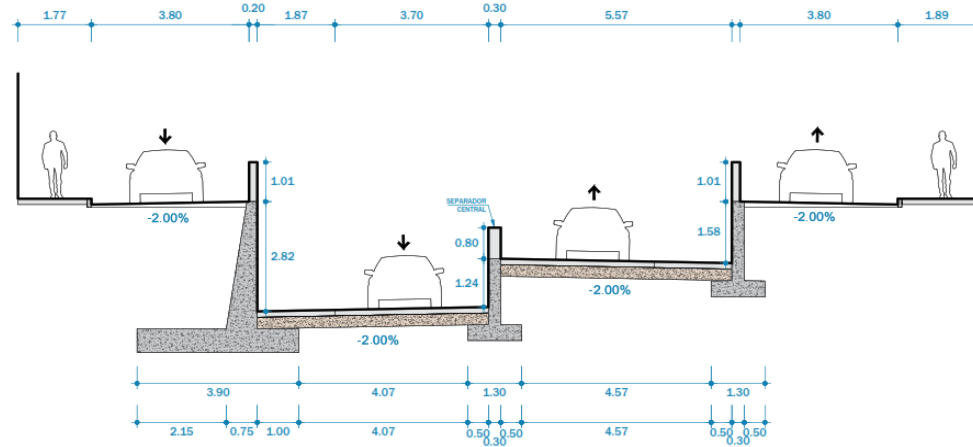
ANEXO N°3: Plano de secciones transversales



CORTE C-C
ESC. 1/75



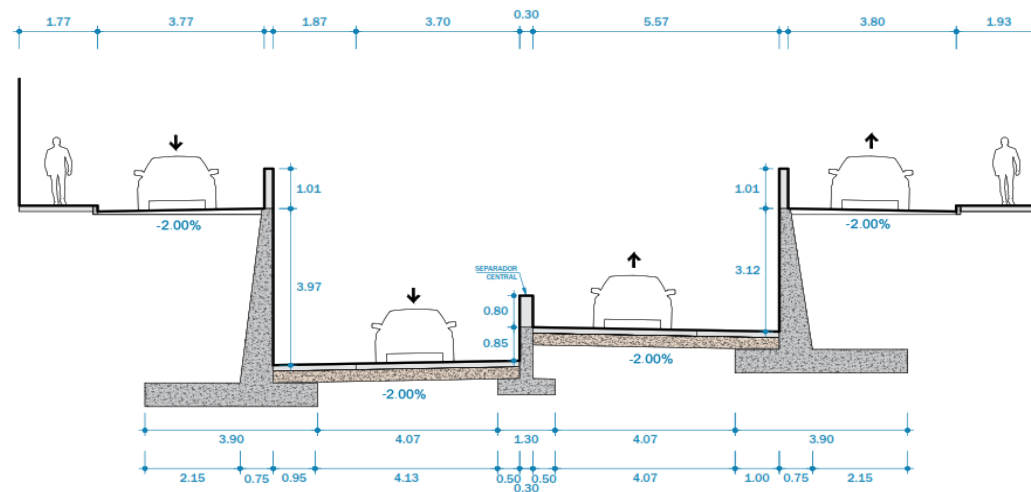
CORTE D-D
ESC. 1/75



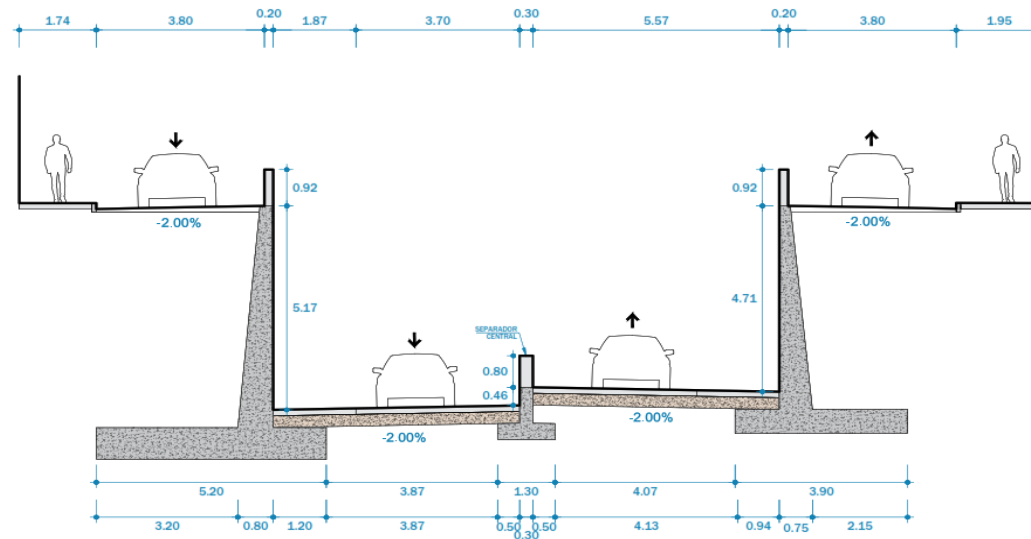
ANEXO N°4: Plano de secciones transversales



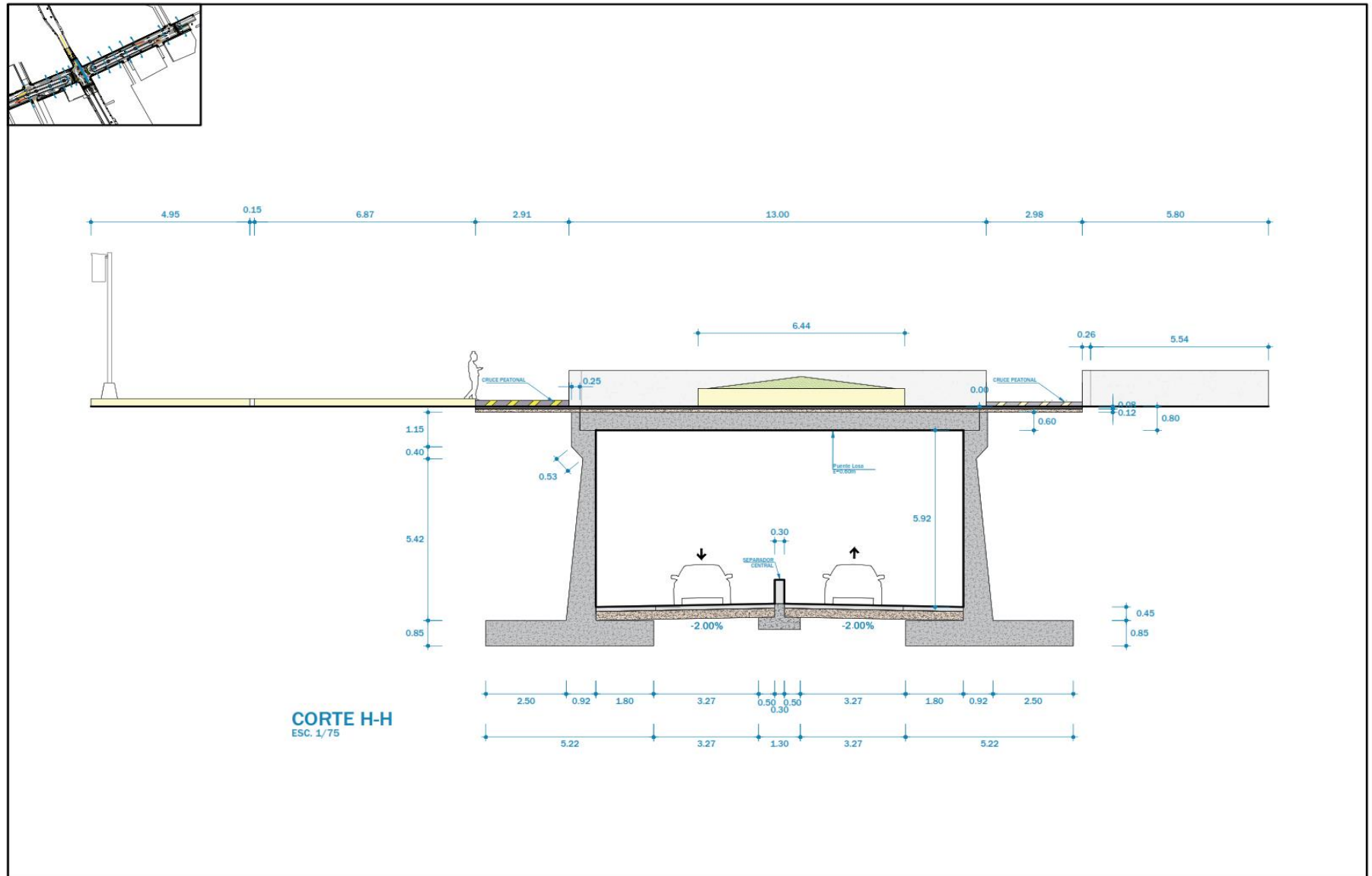
CORTE E-E
ESC. 1/75



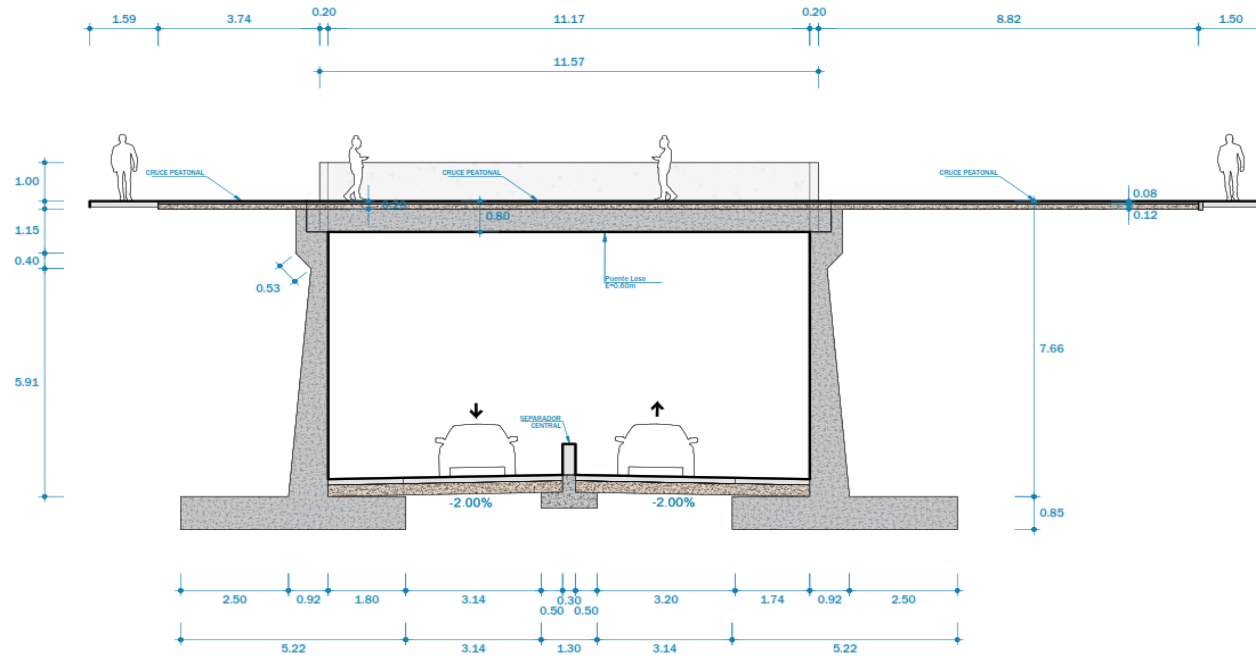
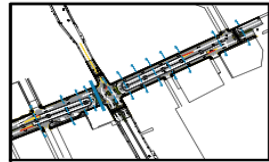
CORTE F-F
ESC. 1/75



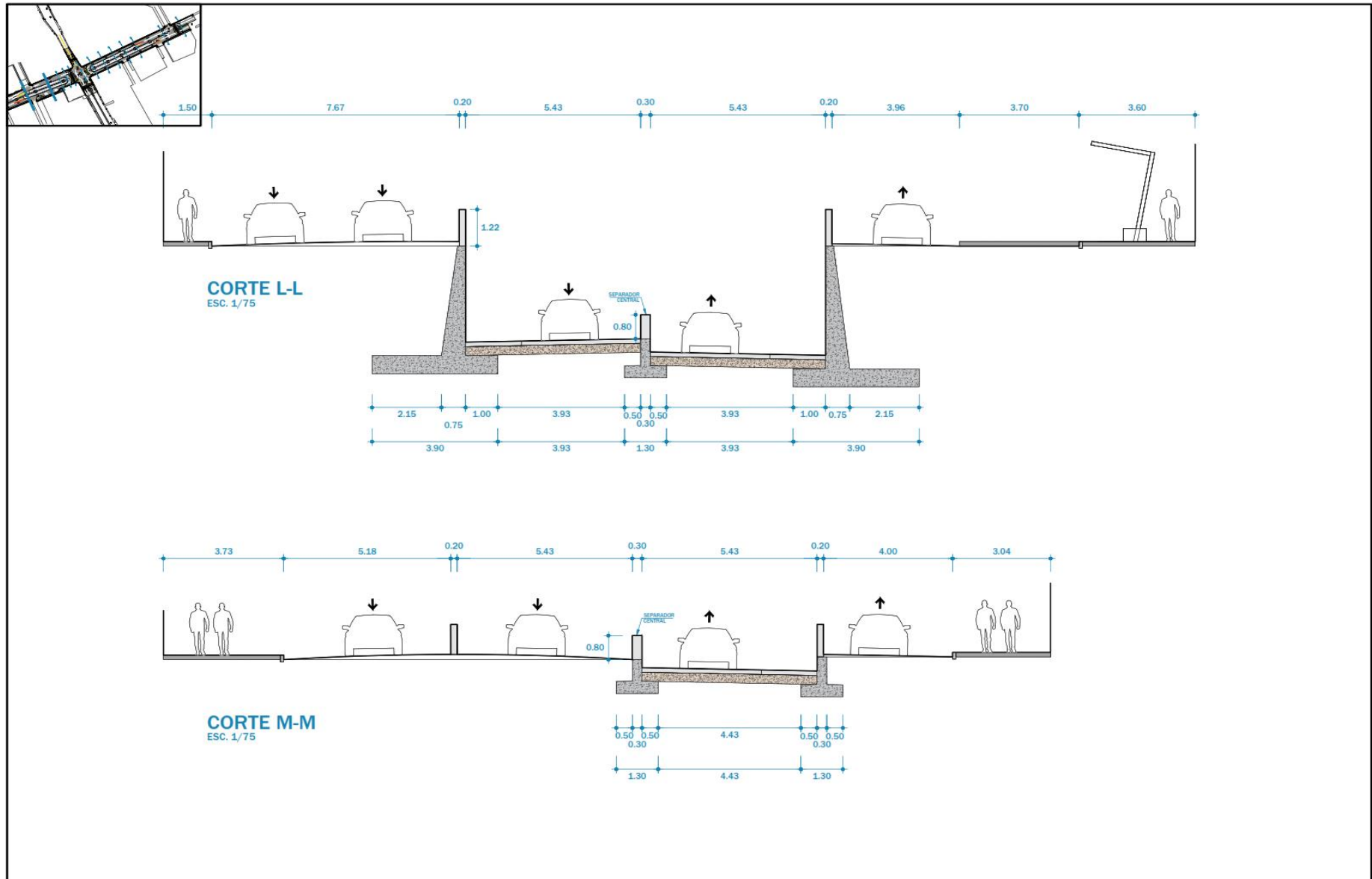
ANEXO N°5: Plano de secciones – puente



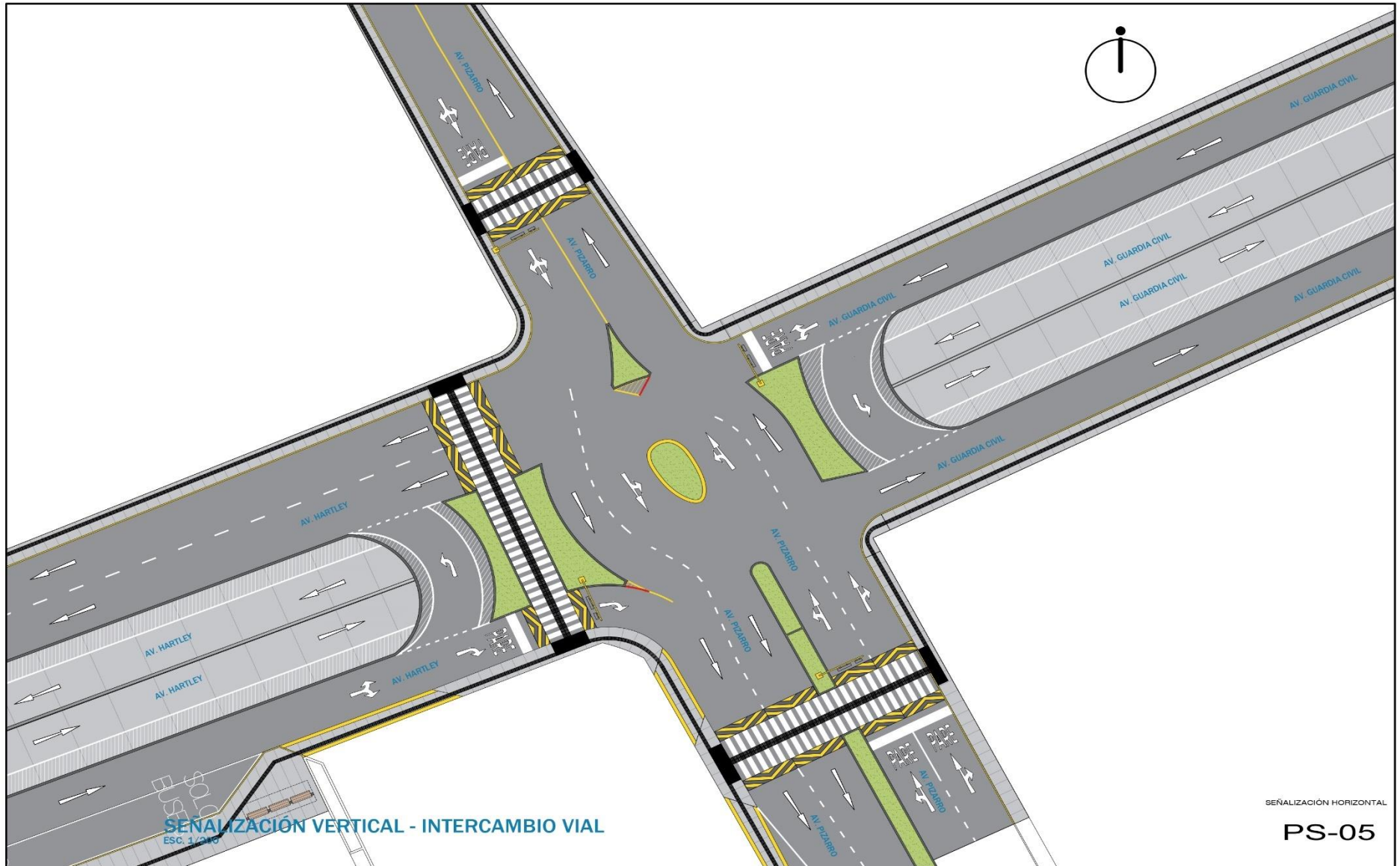
ANEXO N°6: Plano de secciones transversales



ANEXO N°7: Plano de secciones transversales



ANEXO N°8: Plano de señalizaciones en el intercambio



ANEXO N°9: vista en isométrico



ANEXO N°10: vista en isométrico

