

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“PROPUESTA VIAL PARA LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR
EN LA INTERSECCIÓN DE LA AV. CUSCO Y LA AV. GRAU EN
LA PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA,
2025”**

**PARA OPTAR POR:
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

**Bach. MILKO GUSTAVO MARCA COHAILA
Bach. SEBASTHIÁN JOSUÉ LÓPEZ ROSPIGLIOSI**

**TACNA – PERÚ
2025**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“PROPUESTA VIAL PARA LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR
EN LA INTERSECCIÓN DE LA AV. CUSCO Y LA AV. GRAU EN
LA PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA,
2025”**

Tesis sustentada y aprobada el 23 de diciembre de 2025; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Dr. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ

PRESIDENTE : Mag. OMAR ARTURO CUTIMBO TICONA

**VOCAL : Mtro. ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERÓN
JUÁREZ**

ASESOR : Mtro. MILTON CESAR GORDILLO MOLINA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Milko Gustavo Marca Cohaila y Sebasthían Josué López Rospigliosi, egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de la Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 72447941 y 72845749 y respectivamente, así como Milton Cesar Gordillo Molina con DNI 01338713; declaramos en calidad de autores y asesor que:


1. Somos los autores de la tesis titulada: “*Propuesta vial para la transitabilidad vehicular en la intersección de la av. cusco y la av. grau en la provincia de tacna, departamento de tacna, 2025*”, la cual presentamos para optar el Título Profesional de Ingeniería Civil.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 23 de diciembre de 2025


Milko Gustavo Marca Cohaila
DNI: 72447941


Sebasthían Josué López Rospigliosi
DNI: 72845749


Milton Cesar Gordillo Molina
DNI: 01338713

DEDICATORIA

Esta tesis va dirigida a mi mamá Eliana, a mi hermana Alexa, a mi hermanita Stephanie y a mi papá Milko; quienes siempre me apoyaron en cada etapa de mi vida, ellos son mi familia y son pilar fundamental en mi vida.

A todas las personas que me brindaron su apoyo y sus mejores deseos.

Milko Gustavo Marca Cohaila

Esta tesis va dirigida a mis padres que fueron un pilar importante en mi vida, mi papá Pedro López me enseñó, me educó y me guio en la carrera, mi mamá Janneth Rospigliosi, fue mi soporte mental, mi luz cuando todo estaba oscuro, este logro es de ustedes también.

A mi hermano Rodrigo, que es y siempre será uno de mis motivos más grandes para siempre seguir y no rendirme.

A todas las personas que estuvieron a mi lado, que siempre desearon lo mejor para mí y de una u otra forma me apoyaron.

Sebastián Josué López Rospigliosi

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestro asesor Ingeniero Milton Cesar Gordillo Molina, quien nos brindó su valiosa orientación, conocimientos y consejos en cada etapa de este proyecto, guiándonos con paciencia y dedicación hacia la culminación de este trabajo.

De igual manera, hacemos extensivo nuestro profundo reconocimiento a todos los docentes de la Universidad Privada de Tacna, por las enseñanzas, experiencias y valores transmitidos durante nuestra formación académica, los cuales han sido fundamentales para nuestro crecimiento profesional y personal.

Milko Gustavo Marca Cohaila,
Sebastián Josué López Rospigliosi

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Formulación del problema	6
1.2.1 Problema general.....	6
1.2.2. Problemas específicos	7
1.3. Justificación e Importancia	7
1.4. Objetivos	8
1.4.1. Objetivo general:	8
1.4.2. Objetivos específicos:.....	8
1.5. Hipótesis	9
1.5.1. Hipótesis general.....	9
1.5.2. Hipótesis general.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes de la Investigación	10
2.2. Bases teóricas	13
2.3. Definición de Términos.....	30
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	33
3.1. Diseño de investigación.....	33

3.2.	Acciones y actividades	33
3.3.	Materiales e instrumentos	33
3.4.	Población y muestra de estudio.....	34
3.5.	Operacionalización de variables.....	34
3.6.	Procesamiento y análisis de datos	35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....		36
4.1.	Descripción general.....	36
4.1.1	Zona de ubicación.....	36
4.1.2	Ubicación geográfica.....	37
4.1.3	Sección vial.....	37
4.1.4	Semaforización	39
4.1.5	Características geométricas de la intersección vial.....	40
4.2.	Estudio de trafico.....	41
4.2.1.	Inspección visual.....	41
4.2.2.	Forma de registro de datos	42
4.2.3.	Aforo vehicular	42
4.2.4.	Selección de hora pico.....	50
4.2.5.	Tiempo de los semáforos.....	50
4.2.6.	Análisis de la hora pico	51
4.2.7.	Parámetro de análisis básicos	55
4.3.	Estudio topográfico.....	80
4.3.1.	Personal de trabajo.....	80
4.3.2.	Instrumentos	80
4.3.3.	Descripción del área	80
4.3.4.	Localización	81
4.3.5.	Acceso	81
4.3.6.	Clima.....	81
4.3.7.	Altitud de la zona	81
4.4.	Diseño geométrico	82

4.4.2. Propuesta 2.....	83
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	85
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de densidades máximas permitidas	14
Tabla 2. Nivel de servicio	15
Tabla 3. Tipos de nivel de intersección	17
Tabla 4. Factor de ajuste de ancho de carril	20
Tabla 5. Factor de ajuste por vehículos pesados.....	21
Tabla 6. Tipos de llegada HCM 2010.....	26
Tabla 7. Tipos de llegada HCM 2010.....	27
Tabla 8. Tipos de llegada HCM 2010.....	29
Tabla 9. Operacionalización de variables	34
Tabla 10. Zona de ubicación.....	36
Tabla 11. Ubicación geográfica intersección 1.....	37
Tabla 12. Ubicación geográfica intersección 2.....	37
Tabla 13. Flujo vehicular total por intervalos de hora del día lunes 25/08/2025	43
Tabla 14. Flujo vehicular total por intervalos de hora del día martes 26/08/2025....	44
Tabla 15. Flujo vehicular total por intervalos de hora del día miércoles 27/08/2025....	45
Tabla 16. Flujo vehicular total por intervalos de hora del día jueves 28/08/2025	46
Tabla 17. Flujo vehicular total por intervalos de hora del día viernes 29/08/2025 ...	47
Tabla 18. Flujo vehicular total por intervalos de hora del día sábado 30/08/2025 ...	48
Tabla 19. Flujo vehicular total por intervalos de hora del día domingo 31/08/2025 .	49
Tabla 20. Volumen máximo de vehículos durante 15 minutos de flujo vehicular	52
Tabla 21. Vehículos por hora	53
Tabla 22. Porcentaje de vehículos pesados por acceso	54
Tabla 23. Vehículos de transporte público que paran por acceso.....	54
Tabla 24. Numero de peatones por hora	54
Tabla 25. Parámetros de la Estación 1,2,3 y 4 de la intersección Av. Grau con Av. Cusco	55
Tabla 26. Nivel de servicio de acuerdo a la demora por control.....	62
Tabla 27. Nivel de servicio de acuerdo a la demora por control.....	67
Tabla 28. Nivel de servicio de acuerdo a la demora por control.....	73
Tabla 29. Nivel de servicio de acuerdo a la demora por control.....	80
Tabla 30. Características de las vías	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Intersección de las avenidas Cusco y Grau	4
Figura 2. Tránsito en la intersección de las avenidas Cusco y Grau.....	4
Figura 3. Atascos vehiculares de las avenidas Cusco y Grau.....	5
Figura 4. Peatones cruzando la avenida Cusco e intersección con la avenida Grau.	5
Figura 5. Puntos de peligro para peatones en la avenida Cusco-Grau	6
Figura 6. Vista satelital de la intersección 1 y de la intersección 2.....	36
Figura 7. Sección vial de las intersecciones 1 y 2.....	38
Figura 8. Corte A-A (Av. Grau).....	38
Figura 9. Corte B-B (Av. Cusco)	38
Figura 10. Corte C-C (Av. Grau)	39
Figura 11. Corte D-D (Av. Cusco)	39
Figura 12. Tráfico en la intersección Av. Cusco con Av. Grau	39
Figura 13. Tráfico en la intersección Av. Cusco con Av. Grau	40
Figura 14. Vista en planta de la intersección vial	41
Figura 15. Formato utilizado para el conteo vehicular	42
Figura 16. Tiempo de semaforización	51
Figura 17. Movimientos identificados en cada acceso	52
Figura 18. Fase de Semaforización en la intersección de Av. Grau con Av. Cusco (NE-SE).....	56
Figura 19. Pendiente de la estación 1 en la intersección de Av. Grau -Av. Cusco..	56
Figura 20. Fase de Semaforización en la intersección de Av. Grau con Av. Cusco (N-S)	62
Figura 21. Pendiente de la estación 2 en la intersección de Av. Grau -Av. Cusco..	62
Figura 22. Fase de Semaforización en la intersección de Av. Grau con Av. Cusco (S-N)	68
Figura 23. Pendiente de la estación 3 en la intersección de Av. Grau -Av. Cusco..	68
Figura 24. Fase de Semaforización en la intersección de Av. Grau con Av. Cusco (SE-NE)	74
Figura 25. Pendiente de la estación 4 en la intersección de Av. Grau -Av. Cusco..	74
Figura 26. Plano topográfico	82
Figura 27. Diseño de propuesta N°01	83
Figura 28. Diseño de propuesta N°02.....	84

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de una propuesta vial en la mejora de la transitabilidad vehicular en un punto crítico de la ciudad. Para ello, se ejecutó un estudio de tráfico que incluyó el conteo vehicular durante una semana en tres horarios de máxima demanda (7:00–9:00 a.m., 12:00–2:00 p.m. y 6:00–8:00 p.m.), registrándose un total de 168,341 vehículos. Luego, se analizó el nivel de servicio mediante cálculos manuales basados en el Highway Capacity Manual (HCM 2010). Se desarrollaron dos propuestas viales orientadas a optimizar la operación y seguridad en la intersección de las avenidas Grau y Cusco: la reubicación de cruces peatonales para ampliar el almacenamiento vehicular y reducir conflictos, la implementación de separadores canalizadores para evitar la invasión de carriles y mejorar la canalización del flujo. Los resultados evidencian una mejora significativa en la capacidad operacional, el orden del flujo vehicular y los tiempos de desplazamiento, contribuyendo así a una circulación más segura y eficiente en la intersección evaluada.

Palabras clave: transitabilidad vehicular; estudio de tráfico; nivel de servicio; intersección vial; propuesta vial; optimización semafórica.

ABSTRACT

The present research aimed to determine the influence of a roadway proposal on improving vehicular mobility at a critical point in the city. For this purpose, a traffic study was conducted, which included vehicle counts carried out over one week during three peak-demand periods (7:00–9:00 a.m., 12:00–2:00 p.m., and 6:00–8:00 p.m.), recording a total of 168,341 vehicles. Subsequently, the level of service was analyzed through manual calculations based on the Highway Capacity Manual (HCM 2010). Two roadway proposals were developed to optimize operation and safety at the intersection of Grau and Cusco avenues: the relocation of pedestrian crossings to increase vehicle storage capacity and reduce conflicts, and the implementation of channelizing separators to prevent lane encroachment and improve traffic flow guidance. The results show a significant improvement in operational capacity, traffic flow organization, and travel times, thereby contributing to safer and more efficient circulation at the evaluated intersection.

Keywords: vehicular mobility; traffic study; level of service; road intersection; roadway proposal; traffic signal optimization.

INTRODUCCION

El desarrollo urbano sostenible requiere de una infraestructura vial eficiente, capaz de garantizar niveles adecuados de servicio, seguridad y confort para los usuarios. En este contexto, la ingeniería del tránsito desempeña un papel fundamental al analizar, diseñar y optimizar los sistemas de transporte urbano. La gestión adecuada del flujo vehicular en intersecciones constituye un aspecto esencial para el funcionamiento ordenado de la red vial, dado que en estos puntos se concentran la mayoría de los conflictos de circulación y pérdida de capacidad operativa.

La transitabilidad vehicular constituye un aspecto esencial dentro del desarrollo urbano, ya que garantiza el desplazamiento eficiente, seguro y continuo de los vehículos dentro de una ciudad. En los últimos años, la ciudad de Tacna ha experimentado un notable incremento del parque automotor y un crecimiento urbano acelerado que han generado elevados niveles de congestión, principalmente en intersecciones críticas como la formada por la avenida Cusco y la avenida Grau. Estas deficiencias producen demoras en la circulación, incremento de la contaminación y una mayor probabilidad de accidentes de tránsito, lo que refleja la necesidad de analizar las condiciones actuales del flujo vehicular y proponer estrategias que mejoren la movilidad y seguridad vial en este punto de la ciudad.

Por su parte, la propuesta vial se plantea como una alternativa técnica destinada a optimizar la circulación mediante la mejora de la geometría de la intersección, la reorganización del flujo vehicular, la modernización del sistema semafórico y la implementación de señalización horizontal y vertical adecuada. Estas acciones buscan reducir los conflictos de tránsito, mejorar los tiempos de recorrido y fortalecer la seguridad vial tanto para conductores como para peatones. La investigación resulta relevante, ya que sus resultados podrán ser considerados por las autoridades locales como referencia para futuros proyectos de infraestructura vial en la ciudad de Tacna.

La presente tesis se encuentra estructurada en ocho capítulos. En el Capítulo I, se describe el problema de investigación, su formulación, la justificación, los objetivos y la hipótesis que orienta el estudio. El Capítulo II desarrolla el marco teórico, que comprende los antecedentes, bases conceptuales y definiciones de los términos fundamentales. En el Capítulo III, se presenta el marco metodológico, donde se especifica el diseño de investigación, las actividades, materiales, población, muestra y operacionalización de variables. El Capítulo IV contiene los resultados obtenidos,

mientras que el Capítulo V aborda la discusión y el análisis comparativo de dichos resultados. En el Capítulo VI se exponen las conclusiones derivadas del estudio y, en el Capítulo VII, las recomendaciones orientadas a mejorar la transitabilidad vehicular en la intersección de la avenida Cusco con la avenida Grau. Finalmente, el Capítulo VIII presenta las referencias bibliográficas utilizadas a lo largo del desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La congestión vehicular es un problema urbano global que afecta a miles de ciudades en todo el mundo, especialmente en aquellas que han experimentado un crecimiento acelerado sin una planificación vial adecuada. Este fenómeno genera demoras en los desplazamientos, aumento en el consumo de combustible, mayor contaminación ambiental, riesgo de accidentes y una significativa disminución en la calidad de vida de los ciudadanos. Su origen suele estar relacionado con el crecimiento del parque automotor, deficiencias en la infraestructura vial y una limitada educación vial entre conductores y peatones.

En el Perú, esta problemática se ha vuelto cada vez más notoria en las principales ciudades, debido a la falta de previsión sobre el crecimiento del tránsito vehicular, asociado a proyectos viales ineficientes, débil fiscalización y fallas en la semaforización y señalización vial. La infraestructura existente no responde adecuadamente a la creciente demanda, especialmente en horas punta, lo que ha generado tráfico crónico y riesgos constantes para la seguridad vial.

La ciudad de Tacna no ha sido la excepción. El crecimiento poblacional y el aumento del número de vehículos han generado una fuerte presión sobre la red vial urbana. En varias zonas de la ciudad, el tráfico se ha vuelto cotidiano. Una de las intersecciones más críticas es la de la Avenida Cusco con la Avenida Grau, donde se observan congestionamientos severos, desorden vehicular y embotellamientos frecuentes, particularmente en horarios de alta demanda.

En dicha intersección, la infraestructura vial resulta insuficiente para atender adecuadamente la alta demanda vehicular diaria. Además, la organización del flujo de tránsito es deficiente, lo que provoca maniobras riesgosas, conflictos entre los distintos usuarios de la vía y pérdida de tiempo. A esta problemática se suma el mal funcionamiento o deficiencia en la sincronización de los semáforos, lo cual agrava el descontrol del tránsito y genera aún más caos.

Según se observa en la Figura 1, la intersección de las avenidas Cusco y Grau presenta una elevada concentración vehicular y una distribución vial que limita la fluidez del tránsito. Asimismo, en la Figura 2 se evidencia el incremento del flujo vehicular durante las horas punta, generando demoras y dificultades en la circulación.

Figura 1

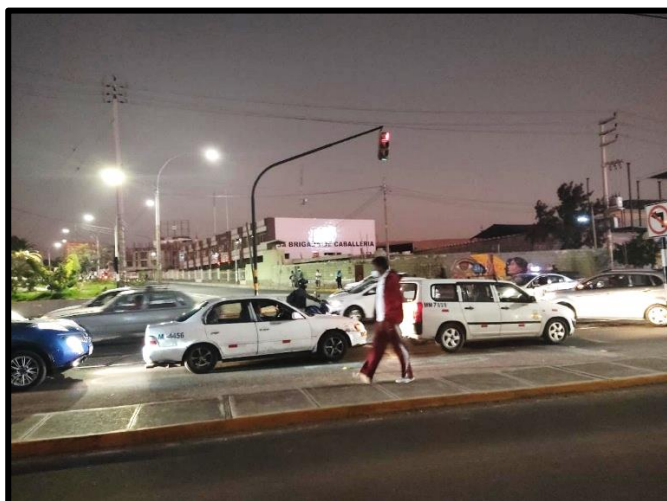
Intersección de las avenidas Cusco y Grau



Nota. Imagen de Google Earth

Figura 2

Tránsito en la intersección de las avenidas Cusco y Grau



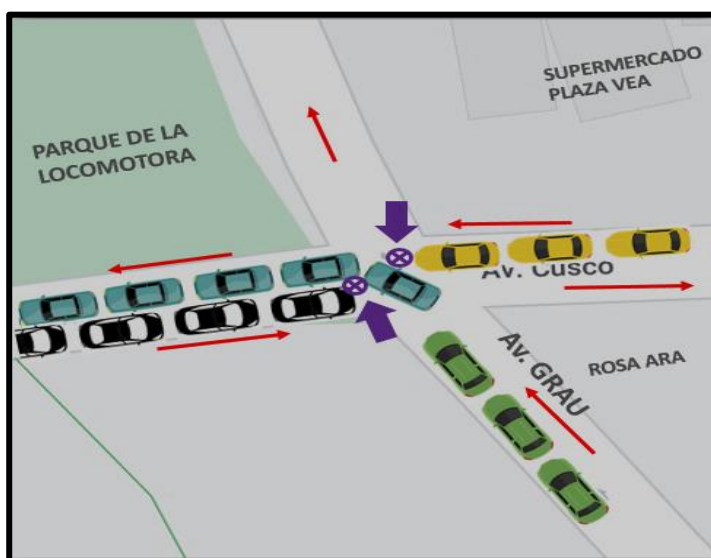
Asimismo, los peatones se ven expuestos a situaciones de alto riesgo, ya que las líneas peatonales no son respetadas por los conductores y los espacios destinados para el cruce peatonal suelen ser invadidos por los vehículos. Esta situación crítica ha sido identificada en al menos seis puntos específicos dentro de la intersección, donde los transeúntes deben atravesar la vía sin garantías mínimas de seguridad.

De acuerdo con la Figura 3, los atascos vehiculares en la intersección de las avenidas Cusco y Grau ocasionan congestión constante y reducen el nivel de servicio de la vía.

En la Figura 4 se observa que los peatones presentan dificultades para cruzar la intersección debido al alto flujo vehicular y al escaso respeto por las líneas peatonales.

Figura 3

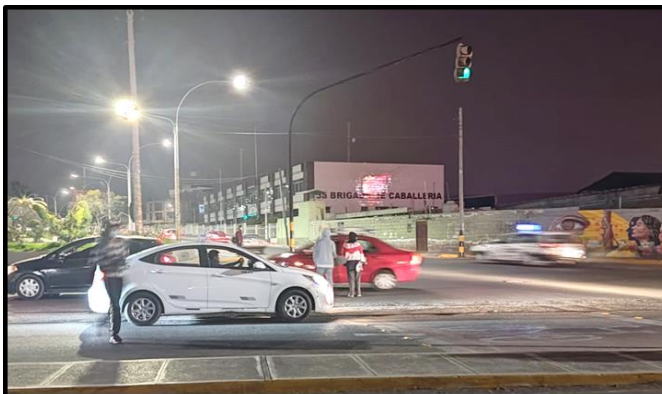
Atascos vehiculares de las avenidas Cusco y Grau



Nota: Imagen de Google Maps

Figura 4

Peatones cruzando la avenida Cusco e intersección con la avenida Grau

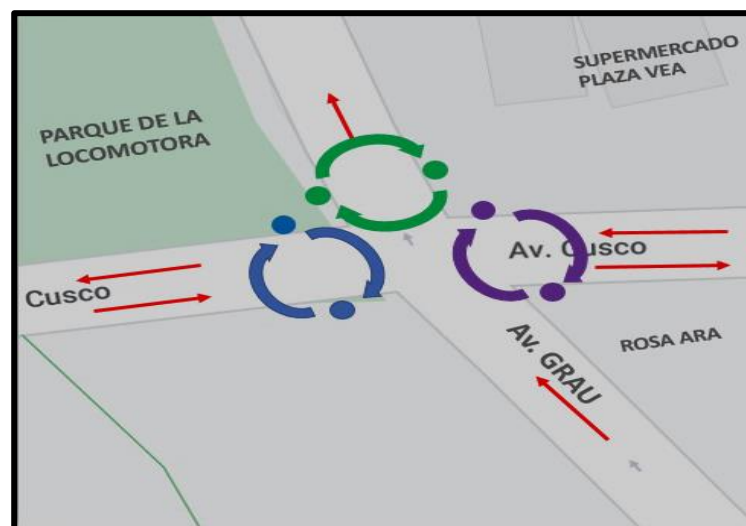


En conjunto, la intersección de las avenidas Cusco y Grau representa una problemática compleja que involucra una infraestructura vial inadecuada, deficiente regulación del tránsito, falta de cultura vial y condiciones inseguras para los peatones. Todo ello impacta directamente en la transitabilidad vehicular y la seguridad de los usuarios. Por tanto, se hace necesario plantear una propuesta técnica integral que permita diagnosticar la situación actual y proponer soluciones viables y sostenibles que contribuyan a mejorar la movilidad y seguridad en este punto estratégico de la ciudad.

Tal como se muestra en la Figura 5, existen diversos puntos de peligro para los peatones, especialmente en las zonas de mayor conflicto entre vehículos y transeúntes.

Figura 5

Puntos de peligro para peatones en la avenida Cusco-Grau



Nota: Imagen de Google Maps

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿De qué manera influye la propuesta vial en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿De qué manera influye un estudio de tráfico en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025?
- b. ¿De qué manera influye el estudio topográfico en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025?
- c. ¿De qué manera influye el diseño geométrico en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025?

1.3. Justificación e Importancia

Desde el punto de vista científico, el presente estudio generó información técnica relevante sobre la problemática del tránsito urbano en una intersección crítica de la ciudad. Esta investigación no solo contribuyó a enriquecer el conocimiento existente en el campo de la ingeniería vial, sino que también sentó las bases para futuras investigaciones relacionadas con la planificación del transporte y el diseño de soluciones sostenibles. A través del análisis riguroso de datos obtenidos en campo, se validó metodologías aplicables a contextos urbanos similares. De este modo, se impulsó la generación de nuevas propuestas que respondieron a las demandas actuales del crecimiento urbano y la movilidad sostenible, fomentando una visión más integral, técnica y contextualizada de la problemática vial.

Desde el punto de vista social, este nuevo planteamiento de solución vial en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau promovió un entorno urbano más ordenado, seguro y accesible para todos los usuarios de la vía. Al mejorar la circulación vehicular y peatonal, se redujo la exposición al peligro, especialmente en horarios de mayor afluencia. Esta intervención benefició directamente a una parte significativa de la población tacneña que transita a diario por esta zona, permitiéndole desplazarse con mayor seguridad, rapidez y confianza. Además, al disminuir los conflictos entre peatones y vehículos, se fomentó una cultura vial más responsable y se fortaleció el tejido social mediante una infraestructura urbana más eficiente e inclusiva.

Desde el punto de vista económico, la solución propuesta permitió optimizar significativamente los tiempos de desplazamiento, lo que se tradujo en una mejora en la productividad de las actividades económicas de la zona y de la ciudad en general. Al

reducir la congestión vehicular, los usuarios evitaron pérdidas de tiempo que se reflejaron en menores ingresos y mayores costos operativos, induciendo a un uso más eficiente de los recursos al disminuir el gasto innecesario en combustible y mantenimiento de vehículos. Estas mejoras no solo beneficiaron a los usuarios directos, sino también al comercio local, al transporte público y a la economía urbana en su conjunto, generando condiciones más favorables para el desarrollo económico sostenible.

Desde el punto de vista ambiental, este nuevo planteamiento de solución vial en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau contribuyó de forma significativa a la mitigación del impacto ambiental asociado al transporte urbano. Al mejorar la fluidez del tránsito, se disminuyeron los niveles de emisiones contaminantes producto de la circulación lenta y el estancamiento vehicular. Esta mejora repercutió directamente en la calidad del aire y en la salud de la población cercana a la zona intervenida, reduciéndose la huella ecológica del transporte. En este sentido los resultados se alinearon con los principios de sostenibilidad urbana. Esta propuesta, por tanto, representa una contribución concreta hacia una ciudad más limpia, saludable y respetuosa con el medio ambiente.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general:

Determinar la influencia de la propuesta vial en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025.

1.4.2. Objetivos específicos:

- a. Determinar la influencia del estudio de tráfico en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025
- b. Determinar la influencia del estudio de topográfico en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025

- c. Determinar la influencia del diseño geométrico en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La propuesta vial mejorará la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025.

1.5.2. Hipótesis general

- a. El estudio de tráfico contribuirá en la solución al problema de la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025
- b. El estudio de topográfico contribuirá en la solución al problema de la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025
- c. El diseño geométrico contribuirá en la solución al problema de la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. A nivel Internacional

Díaz y Valbuena (2021), en su estudio titulado “Análisis del tránsito vehicular en las intersecciones Postobón, Séptima Brigada y la Grama proyectado a 5, 10 y 15 años en la ciudad de Villavicencio”, el objetivo principal fue evaluar la capacidad vehicular y el nivel de servicio de dichas intersecciones para distintos horizontes de proyección. Los autores concluyeron que la alternativa más efectiva consistía en la implementación de ramales de paso directo y un paso a desnivel, con el fin de reducir el volumen de vehículos que acceden a la calzada anular de las glorietas.

Shaima (2022), presenta en “The Design Journal” un análisis exhaustivo de la investigación en torno a la legibilidad de tipografías latinas utilizadas en señalización vial, particularmente en autopistas de Estados Unidos. A través de una revisión sistemática, examina cómo características tipográficas como espaciado, forma, peso y proporciones influyen en la capacidad de lectura de los conductores en condiciones reales de tráfico. Además, resalta diferentes metodologías empleadas tales como simulaciones de conducción y medidas de respuesta visual y plantea que futuros estudios deberían combinar los hallazgos de la psicología lectora con enfoques de diseño gráfico para generar tipografías más funcionales y seguras. Esta propuesta apunta a un diseño centrado en el usuario, con fuerte énfasis en la aplicabilidad práctica en el entorno vial.

Han et al. (2022), este estudio denominado "Analysis of Traffic Signs Information Volume Affecting Driver's Visual Characteristics and Driving Safety" examina cómo la cantidad de información contenida en señales viales afecta la percepción visual del conductor y su seguridad mientras conduce. Utilizando principios de teoría de la información de Shannon, los autores cuantifican los elementos de información presentes en las señales (como caracteres chinos, ingleses, números, elementos gráficos, colores, etc.), ponderados según su importancia mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

Se realizaron pruebas en un simulador de conducción con 30 conductores (divididos en novatos y experimentados), a tres velocidades (60, 80 y 100 km/h), mientras registraban datos de movimientos oculares (fijaciones, sacadas, amplitud) y medían esfuerzos visuales y carga cognitiva aplicando análisis de componentes

principales, determinaron que el nivel más óptimo de densidad informativa —con menor carga y estrés visual— corresponde a aproximadamente 30 bits/km (denominado nivel S3). Bajo este nivel, los conductores exhibieron menor esfuerzo psicológico, mayor confort visual y mejor desempeño ante la señalización. Este resultado ofrece una base teórica y práctica para optimizar la colocación, frecuencia y cantidad de información en señales viales.

2.1.2. A nivel nacional

Rivera y Yovera (2020), en su estudio titulado “Evaluación vial para mejorar la transitabilidad peatonal y vehicular en la intersección de la avenida Sánchez Cerro y avenida Mártires Ucchuracay – Piura”, el objetivo principal fue analizar la situación vial de dicha intersección con el propósito de optimizar la movilidad tanto peatonal como vehicular. Los autores concluyeron que la elevada congestión y el incremento del flujo peatonal en determinados periodos generan desorden y caos vial, principalmente por la carencia de elementos esenciales como señalización adecuada, infraestructura peatonal (puentes o pasos elevados) y obras complementarias, lo que además produce un impacto ambiental considerable en la zona evaluada.

Méndez y Wang (2019), en su investigación titulada “Estudio y propuesta de mejoramiento de la transitabilidad vehicular y peatonal de la avenida Los Incas en la ciudad de Trujillo – La Libertad”, el objetivo principal fue desarrollar un diagnóstico y una propuesta orientada a optimizar la movilidad vehicular y peatonal en dicha vía. Los autores determinaron que resulta necesaria la implementación de una red de semáforos inteligentes a lo largo de la avenida, los cuales deben ser programados de manera adecuada en función del volumen vehicular registrado por hora en cada punto de control.

Ramos y Vilchez (2023), en su trabajo de título “Optimización del flujo de tráfico vehicular mediante simulaciones de semáforos inteligentes, Piura – 2023” usó Synchro v11 para simular y optimizar semáforos en la intersección Av. Vice y Sánchez Cerro con Grau y Gulman en Piura. Empleó conteos de campo para determinar los días y horas de mayor congestión. Luego, ajustaron los ciclos semaforicos y simularon múltiples escenarios. Los resultados mostraron mejoras claras en el flujo vehicular real: reducción de congestión en hora punta y mejora de niveles de servicio. Esta tesis destaca por su enfoque aplicado, uso de software profesional y vinculación directa entre observación, simulación y propuesta de intervención.

Quiñones (2024), en su investigación denominada "Señalización vial con fines de mejorar el tránsito vehicular en el distrito de Independencia". Enfocada en la señalización vertical y horizontal en el distrito de Independencia (Huaraz), esta investigación pretende establecer cómo una adecuada señalización contribuye a la mejora del flujo vehicular. Basada en diseño no experimental, transversal y prospectivo, emplea observación directa y fichas de campo para registrar el estado actual de la señalización en avenidas principales. El estudio identifica la carencia de señales claras como un factor de congestión, propone un conjunto ordenado de señalización vial y ofrece un análisis cuantitativo de antes y después, mostrando incrementos en la fluidez del tránsito vehicular y peatonal por zonas clave. Su enfoque aplicado y prospectivo la hace útil como antecedente metodológico para evaluar impacto de señalización en intersecciones urbanas de mediana densidad.

2.1.3. A nivel local

Ortiz y Veliz (2018), en su estudio titulado "Optimización del flujo vehicular en la intersección vial de la Av. Gustavo Pinto con la Av. Industrial de la ciudad de Tacna – Tacna", el propósito principal fue optimizar la circulación vehicular en dicha intersección. Los resultados permitieron concluir que, para lograr una mejora efectiva en el flujo vehicular, se debe implementar una de las tres alternativas de solución propuestas en función del análisis realizado.

Urbina y Torres (2018), en su investigación titulada "Optimización del flujo vehicular en la intersección vial de la Av. Bolognesi y la Av. Gustavo Pinto en la ciudad de Tacna", el objetivo general fue optimizar el desempeño del flujo vehicular en dicha intersección. Los autores concluyeron que la aplicación del estudio permitió una mejora significativa en el nivel de servicio existente, evidenciando que el grado de saturación puede mantenerse dentro de un rango aceptable, lo que favorece una circulación más fluida, reduce las demoras y optimiza el comportamiento general del tránsito vehicular.

Cachicatari (2021), en su tesis titulada "Propuesta de optimización del tránsito para mejorar el nivel de servicio en la intersección semaforizada Av. Coronel Mendoza con Calle Basadre y Forero, Tacna", se analizó la problemática de congestión vehicular en una intersección ubicada en una zona de alta actividad comercial. Mediante aforos vehiculares, levantamientos geométricos y registro de tiempos semafóricos, se aplicó la metodología del HCM 2010 para determinar el nivel de servicio, que inicialmente correspondía a la categoría "F" (demoras mayores a 80 s). El estudio planteó tres alternativas de mejora: ampliación de carriles y reajuste de fases semafóricas (nivel "D"),

incorporación de un puente peatonal (nivel “C”) y construcción de un paso a desnivel, siendo esta última la opción que permitiría alcanzar un tránsito más fluido y eficiente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Estudio de Tráfico

El análisis del tráfico vehicular tiene como finalidad identificar tanto la magnitud como la composición de los vehículos que circulan por una vía. Este estudio permite evaluar el volumen promedio diario mediante la contabilización de las unidades vehiculares y el análisis de la demanda total de transporte (Consortio Global, 2015).

Asimismo, se considera un procedimiento fundamental dentro de la ingeniería de tránsito, ya que posibilita efectuar conteos vehiculares para determinar los volúmenes diarios presentes en una sección vial o intersección específica. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

2.2.2. Índice medio diario anual (IMDA)

Corresponde al promedio de los volúmenes de tránsito registrados diariamente durante un año completo en un sector específico de la vía. (MTC, 2018).

Los datos del IMDA proporcionan al proyectista información esencial para establecer los criterios de diseño y mantenimiento de una vía, incluyendo la identificación y clasificación de los vehículos que transitan por ella (MTC, 2018).

Se detalla en la ecuación 1.

$$IMDA = \frac{(VDL1 + VDL2 + VDL3 + VDL4 + VDL5 + VDSAB + VDDOM)}{7} \times FCE \quad (1)$$

Donde:

VDL 1/5: Volúmenes de tráfico registrados en los días laborables.

VDSAB: Volumen de tráfico registrado sábado.

VDDOM: Volumen de tráfico registrado domingo.

FCE: Factor de corrección estacional.

IMDA: Índice Medio Diario Anual.

2.2.3. Factor de corrección estacional

El flujo vehicular presenta variaciones mensuales influenciadas por factores como períodos de cosecha, festividades, vacaciones, condiciones estacionales y fenómenos naturales. En consecuencia, el factor de corrección estacional difiere según la categoría vehicular, aplicándose valores distintos para vehículos ligeros y pesados en cada mes. (Consortio Global, 2015).

2.2.4. Niveles de servicio

El nivel de servicio se entiende como un indicador cualitativo empleado para evaluar las condiciones operativas del tránsito, considerando la percepción que tienen los usuarios sobre la fluidez vehicular (Díaz Vargas, 2009). Este parámetro caracteriza de manera general dichas condiciones en función de variables como el tiempo de desplazamiento, la velocidad, el grado de comodidad, la conveniencia y la libertad de maniobra durante la circulación (Ortiz Lanchipa y Veliz Cabrera, 2018).

Para establecer el nivel de servicio en una vía específica, se debe tomar la densidad como el parámetro clave de evaluación, según se detalla en la Tabla 1

Tabla 1

Valores de densidades máximas permitidas

Nivel de servicio	Densidad (VI/Km/C)
A	7
B	12
C	19
D	26
E	42
F	> 42

Nota. (Board, 2000)

Los valores mencionados corresponden a los límites máximos de densidad asignados a cada nivel de servicio. En escenarios donde el flujo vehicular presenta discontinuidades, la variable operativa principal para determinar el nivel de servicio es la demora producida por los elementos de control. A continuación, se describen las condiciones de operación correspondientes a cada nivel, conforme a lo establecido en el Manual de Capacidad Vial, se detallan también en la Tabla 2.

- a. Nivel de Servicio A: Los vehículos se desplazan libremente, sin limitaciones en sus maniobras dentro del flujo de tránsito. La densidad es de aproximadamente 7 veh/km/carril, lo que proporciona a los conductores una sensación de comodidad y tranquilidad durante la circulación (Osore, 2015).
- b. Nivel de Servicio B: Los vehículos todavía pueden realizar maniobras dentro del tránsito, pero con cierta limitación debido al incremento del flujo vehicular (Osore, 2015).
- c. Nivel de Servicio C: La densidad alcanza un valor máximo de 19 veh/km/carril. En este nivel, pueden generarse filas de espera ante cualquier obstrucción relevante en la vía (Osore, 2015).
- d. Nivel de Servicio D: El flujo vehicular se aproxima a condiciones de inestabilidad, de modo que ligeros aumentos en la demanda pueden afectar significativamente la calidad del servicio. La velocidad media de desplazamiento alcanza aproximadamente los 74 km/h (Osore, 2015).
- e. Nivel de Servicio E: El servicio presenta un deterioro considerable y las maniobras se encuentran prácticamente restringidas dentro del flujo vehicular. La velocidad media de desplazamiento es de aproximadamente 48 km/h (Osore, 2015).
- f. Nivel de Servicio F: El tránsito se encuentra prácticamente detenido o colapsado. Estas condiciones suelen originarse en las filas de vehículos que se acumulan después de los puntos donde el flujo se interrumpe (Osore, 2015).

Tabla 2*Nivel de servicio*

Nivel de servicio	Características de operación	Demora (s/veh)
A	Baja demora, coordinación extremadamente favorable y ciclos cortos, los vehículos no se detienen.	< 10
B	Ocurre con una buena coordinación y ciclos cortos, los vehículos empiezan a detenerse.	> 10-20
C	Ocurre con una coordinación regular y/o ciclos largos, los ciclos en forma individual empiezan a fallar.	> 20-35
D	Empieza a notarse la influencia de congestión ocasionada por un ciclo largo y/o una coordinación desfavorable o relaciones v/c altas, muchos vehículos se detienen.	> 35-55
E	Es el límite aceptable de la demora indica una coordinación muy pobre, grandes ciclos y relaciones v/c mayores, las fallas en los ciclos son frecuentes.	> 55-80
F	El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de conductores, ocurren cuando los valores de flujo exceden a	> 80

la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c son menores de 1.00 pero con una coordinación muy pobre y/o ciclos demasiado largos.

Nota: Board (2000)

2.2.5. Seguridad vial

La definición comprende las medidas, normas y procedimientos orientados a asegurar una circulación ordenada del tránsito. Para ello, se aplican leyes, reglamentos y pautas de comportamiento que deben ser observadas por peatones, pasajeros y conductores, con el propósito de utilizar de manera adecuada la vía pública y reducir la ocurrencia de accidentes de tránsito (Wikipedia, 2022).

2.2.6. Problemas de seguridad vial

Según Ruíz (2015) en las zonas urbanas se presentan diversos problemas relacionados con la seguridad vial, entre los cuales destacan la deficiente iluminación, las detenciones abruptas generadas por la regulación semafórica, la elevada circulación de vehículos pesados, la presencia de usuarios vulnerables y el exceso de velocidad en los accesos y salidas del área urbana.

2.2.7. Señalizaciones de intersecciones

Según los criterios de diseño, toda intersección a nivel debe incorporar de forma completa las señales informativas, reglamentarias y preventivas, así como los dispositivos necesarios para garantizar una circulación segura (MTC, 2018).

2.2.8. Congestión vehicular

La congestión se presenta cuando el volumen de vehículos que transita por una vía en un momento específico excede su capacidad operativa, lo que provoca un incremento en la densidad del flujo y un aumento en los tiempos de recorrido de los usuarios (Thomson y Bull, 2001).

2.2.9. Causas de la congestión vehicular

Entre los principales factores que originan la congestión vehicular se destacan las deficiencias en la infraestructura vial, la ineficiente gestión del transporte público, el incremento constante del parque automotor, las características propias del sistema de

transporte urbano y los patrones de comportamiento de los conductores (Ortiz y Veliz, 2018).

La ausencia de una adecuada planificación vial contribuye al congestionamiento, ya que no se incorporan criterios esenciales como el desarrollo poblacional, los estudios de aforo, el seguimiento de rutas para distintos tipos de transporte y el diseño geométrico de las vías (Ortiz y Veliz, 2018).

2.2.10. Intersecciones viales

Las intersecciones viales constituyen un punto de convergencia entre diferentes vías, donde se articulan diversos elementos del tránsito, generando un sistema de interacción compleja entre los flujos vehiculares y peatonales (Reyna, 2015).

2.2.11. Intersecciones a nivel

El diseño geométrico de intersecciones a nivel constituye una alternativa que facilita el cruce entre dos o más vías que comparten espacios comunes, como calzadas y zonas de circulación. Estas intersecciones deben garantizar adecuadas condiciones de visibilidad, seguridad y eficiencia en su capacidad de operación (Board, 2000). Se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3

Tipos de nivel de intersección

Intersección	Ramales	Angulo de cruzamiento
En T	3	Entre 60° y 120°
En Y	3	< 60° y >120°
En X	4	< 60°
En +	4	> 60°
En estrella	> 4	-
Intersecciones rotatorias o rotondas	> 4	-

Nota. MTC (2018)

2.2.12. Estudio Topográfico

El estudio topográfico constituye un procedimiento fundamental en ingeniería, mediante el cual se emplean principios geométricos para describir con precisión las características del terreno y los elementos existentes en él, tales como edificaciones, vías, postes o senderos. La información obtenida en campo se procesa posteriormente en gabinete para generar planos con referencias horizontales y altimétricas (MTC, 2018).

2.2.13. Diseño geométrico

Se trata de un procedimiento que posibilita definir el recorrido exacto de una carretera sobre el terreno, tomando en cuenta los elementos fundamentales del diseño, tanto del alineamiento horizontal como del vertical. (MTC, 2018).

2.2.14. Criterios de diseño geométrico

Según el MTC (2018), en el diseño de intersecciones a nivel se debe optar por soluciones simples y seguras, incorporando elementos como isletas, carriles auxiliares y ampliaciones de calzada. El objetivo es reducir maniobras riesgosas y evitar recorridos innecesarios dentro del área de intersección. En este sentido, uno de los criterios fundamentales es:

Reducir las áreas de conflicto, no se recomienda diseñar superficies pavimentadas excesivamente amplias, ya que pueden generar desorientación en peatones y conductores, aumentando la posibilidad de siniestros viales (Board, 2000).

Priorizar los movimientos de mayor relevancia, se debe definir la jerarquía entre las vías, distinguiendo aquellas de mayor importancia de las secundarias, con el fin de establecer las limitaciones y el orden adecuado del flujo vehicular. (Board, 2000).

La visibilidad en la intersección debe ajustarse a la velocidad de aproximación de los vehículos, asegurando que los conductores puedan percibir oportunamente su entorno y tomar decisiones seguras (Board, 2000).

2.2.15. Tasa de flujo “Vp”

La estimación de la tasa de flujo requiere convertir los volúmenes registrados en la hora punta a un volumen equivalente para el intervalo crítico de 15 minutos (Amaru y Laguna, 2022). Se detalla en la ecuación 2.

$$V_p = \frac{VHMD}{FHMD} \quad (2)$$

Donde:

V_p = Tasa de flujo durante 15 minutos pico (veh/h)

$FHMD$ = Factor horario de máxima demanda (adimensional) V

HMD = Volumen horario de máxima demanda (veh/h)

2.2.16. Tasa de flujo de saturación ajustada “S”

La tasa de flujo de saturación ajustada resulta de aplicar factores que consideran las condiciones propias de cada acceso de la intersección, lo que permite modificar el valor inicial del flujo de saturación definido por la metodología. Dicho cálculo se efectúa individualmente para cada grupo de carriles del acceso (MTC, 2018). Se detalla en la ecuación 3.

$$S = S_o * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{RT} * f_{LT} * f_{Rpb} * f_{Lpb} \quad (3)$$

Donde:

S_o == Flujo de saturación básica por carril (veh/h/carril en verde).

f_w = Factor de ajuste por ancho de carriles

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados.

f_g = Factor de ajuste por pendiente de acceso.

f_p = Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles.

f_{bb} = Factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección.

f_a = Factor de ajuste por el tipo de área.

f_{LU} = Factor de ajuste por utilización de carriles.

f_{RT} = Factor por ajuste de giros a la izquierda.

f_{LT} = Factor por ajuste de giros a la derecha.

f_{Rpb} = Factor de ajuste de peatones que giran a la derecha.

f_{Lpb} = Factor de ajuste para ciclistas que giran a la izquierda.

2.2.17. Flujo de saturación base “S_o”

El Manual de Capacidad de Carreteras (MTC, 2018) establece como referencia un flujo total de 1900 vehículos livianos por carril en una hora.

2.2.18. Factor de ajuste por ancho de carriles “ f_w ”

Este factor de ajuste toma en cuenta la influencia del ancho o longitud del carril sobre el flujo vehicular, pudiendo afectar de manera favorable o desfavorable su desempeño. Para determinar dicho valor, el HCM 2010 incluye la Tabla 4, en la cual se asignan los valores según la longitud del carril (HCM 2010).

Tabla 4

Factor de ajuste de ancho de carril

Ancho de carril (m)	Factor de ajuste (f_w)
$W < 3,00$	0,96
$3,00 \leq W \leq 3,90$	1
$W > 3,90$	1,04

Nota. (HCM 2010)

Si la longitud del ancho del carril es más que 3,90 m, el factor puede ser calculado mediante la ecuación 4 del HCM 2010.

$$f_w = 1 + \frac{W - 3,6}{9} \quad (4)$$

Donde:

W = Ancho de carril.

2.2.19. Factor de ajuste por vehículos pesados “ f_{HV} ”

Este factor de ajuste permite convertir los vehículos pesados a su equivalente en vehículos livianos, considerando el mayor espacio que ocupan y sus diferencias operativas. Aunque la metodología plantea un valor de $ET = 2,00$, equivalente a dos vehículos livianos por cada vehículo pesado, en este estudio se empleó una tabla específica con factores utilizados a nivel nacional, seleccionándose el valor de $ET = 2,50$, ya que representa de manera más precisa las características de los vehículos pesados que transitan por las intersecciones analizadas (HCM 2010). Se detalla en la ecuación 5.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)} \quad (5)$$

Donde:

P_{HV} = Porcentaje de vehículos pesados.

E_T = Factor de automóviles equivalentes a un camión.

A nivel nacional, la producción de investigaciones sobre esta temática es escasa. Entre los pocos antecedentes identificados se encuentra la propuesta presentada por la Universidad Científica del Perú en su publicación Elementos de la Teoría del Tráfico Vehicular (2011) (Amaru y Laguna, 2022).

De acuerdo con la Tabla 5, los vehículos pesados presentan factores de equivalencia distintos según su tipo y capacidad operativa.

Tabla 5

Factor de ajuste por vehículos pesados

Vehículo	Factor de ajuste por vehículos pesados UCP-LIMA
Camioneta rural	1,50
Coaster	1,60
Microbús	2,00
Ómnibus	3,00
Camión	2,50 o mas

Nota. Amaru y Laguna (2022)

2.2.20. Factor de ajuste por pendiente de acceso “ f_g ”

Este factor considera la inclinación existente en el acceso a la intersección, donde las pendientes ascendentes se representan mediante valores positivos y las descendentes con valores negativos. El valor respectivo se determina a partir de la ecuación 6.

$$f_g = 1 - \frac{G}{200} \quad (6)$$

Donde:

G = Pendiente %

2.2.21. Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles “ f_p ”

Este factor evalúa la influencia de las maniobras de estacionamiento cercanas al acceso y, además, los bloqueos que estas pueden generar en el flujo vehicular. Según el HCM,

cada maniobra implica un tiempo aproximado de 18 segundos, y su cuantificación se obtiene aplicando la ecuación 7 (HCM 2010).

$$f_p = \frac{N - 0,1 - \frac{18 * Nm}{3600}}{N} \quad (7)$$

Donde:

N = Número de carriles

Nm = Representa la cantidad de maniobras generadas por la presencia de estacionamientos ubicados junto al grupo de carriles, dentro de un tramo de 75 metros previos al punto de análisis (maniobras/h), estableciéndose un valor máximo de 180 maniobras por hora.

En caso de no presentar estacionamientos, el factor será igual a 1,00.

2.2.22. Factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección “ f_{bb} ”

Este factor toma en cuenta las detenciones efectuadas por los vehículos de transporte público para recoger o dejar pasajeros en un tramo cercano a la intersección, específicamente dentro de los 76 metros previos al acceso. Para su estimación se emplea un tiempo promedio de obstrucción de 14,4 segundos, y su valor se determina mediante la ecuación 8 (HCM 2010).

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14,4 * Nb}{3600}}{N} \quad (8)$$

Donde:

N = Número de carriles.

Nb = Corresponde al número de vehículos de transporte público que efectúan detenciones dentro del tramo analizado, expresado en vehículos por hora (veh/h). En caso de no presentar buses que paren, el factor será igual a 1,00.

2.2.23. Factor de ajuste por tipo de área “ f_a ”

Este factor considera la clasificación del entorno donde se realiza el estudio, ya sea un área céntrica, comercial, empresarial u otra zona con funciones equivalentes.

Para áreas comerciales $f_a = 0,90$

Para áreas residenciales o externas al núcleo de la ciudad $f_a = 1,00$

Donde:

f_a = Factor de ajuste por tipo de área.

2.2.24. Factor de ajuste por utilización de carriles “ f_{LU} ”

El factor tiene en cuenta la manera en que se distribuye el flujo vehicular. Si la distribución es uniforme, se asigna un valor de $f_{LU} = 1,00$ a cada carril o en ausencia de un carril exclusivo. Para casos en los que la distribución no sea uniforme, el factor se determina aplicando la ecuación 9.

$$f_{LU} = \frac{Vg}{Vg1 * N} \quad (9)$$

Donde:

N = Número de carriles

Vg = Tasa de flujo de demanda no ajustada del grupo de carril.

$Vg1$ = Tasa de flujo de demanda no ajustada con el volumen mayor del grupo de carril.

2.2.25. Factor de ajuste por vueltas a la izquierda “ f_{LT} ”

El factor considera los movimientos hacia la izquierda, tomando en cuenta si son giros permitidos o protegidos y si se ejecutan desde un carril exclusivo o compartido. En accesos donde no se presentan giros a la izquierda, el valor del factor es 1,00, mientras que en otros casos se determina según los valores indicados por los datos específicos.

Carril exclusivo: $f_{LT} = 0,95$

Carril compartido: $f_{LT} = \frac{1}{1-0,05 * P_{LT}}$

Donde:

P_{LT} = Porcentaje de giros con dirección a la izquierda en el grupo de carril.

2.2.26. Factor de ajuste por vueltas a la derecha “ f_{RT} ”

Este factor analiza los movimientos de giro a la izquierda, tomando en cuenta si se realizan bajo condiciones permitidas o protegidas, así como el tipo de carril desde el cual se ejecutan, ya sea exclusivo o compartido. En los accesos donde no se registran

giros a la izquierda, el valor del factor es igual a 1,00; en los demás casos, se calcula de acuerdo con la información obtenida en el estudio.

Carril exclusivo: $f_{LT} = 0,85$

Carril compartido: $f_{LT} = 1 - 0,15 * P_{RT}$

Donde:

P_{LT} = Porcentaje de giros con dirección a la izquierda en el grupo de carril.

2.2.27. Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la derecha “ f_{Rpb} ”

El factor evalúa la presencia de posibles conflictos con peatones o ciclistas durante los giros a la derecha. Si no se identifican conflictos, el factor se establece con un valor de 1,00.

$$f_{Rpb} = 1,00 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RTA}) \quad (10)$$

Donde:

P_{RT} = Porcentaje de movimientos a la derecha en el grupo de carriles.

P_{RTA} = Porcentaje de movimientos a la derecha que usan la fase protegida.

A_{pbT} = Ajuste a la fase permitida.

2.2.28. Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la izquierda “ f_{Lpb} ”

Este factor contempla la presencia de posibles conflictos con peatones o ciclistas que se desplazan hacia la izquierda; en caso de no existir tales interferencias, el valor asignado al factor es de 1,00.

$$f_{Lpb} = 1,00 - P_{LT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{LTA}) \quad (11)$$

Donde:

P_{LT} = Porcentaje de movimientos a la izquierda en el grupo de carriles.

P_{LTA} = Porcentaje de movimientos a la izquierda que usan la fase protegida.

A_{pbT} = Ajuste a la fase permitida.

2.2.29. Capacidad “c”

Se entiende como la cantidad máxima de vehículos que pueden cruzar un acceso de intersección durante un intervalo de tiempo específico, considerando las condiciones de operación del tránsito y las características geométricas de la vía. Este valor, expresado en vehículos por hora por carril, depende de la tasa de flujo de saturación ajustada y de la duración del ciclo semafórico, y se determina mediante la ecuación 12.

$$c = N * S * \frac{g}{C} \quad (12)$$

Donde:

S = Flujo de saturación (veh/h).

N = Número de carriles del grupo de carril.

g = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles (segundos).

C = Ciclo del semáforo (segundos).

2.2.30. Relación volumen/capacidad “ X_i ”

También conocida como grado de saturación X se calcula mediante la ecuación 13.

$$X = \left(\frac{Vp}{c} \right) \quad (13)$$

Donde:

Vp = Tasa de flujo de tráfico actual del grupo de carriles (veh/h).

c = Capacidad del grupo de carril (veh/h).

2.2.31. Determinación de las demoras

Se trata de la demora media que experimentan los vehículos al transitar por un acceso, incluyendo factores como la reducción de la velocidad, los tiempos de parada y las desaceleraciones provocadas por los dispositivos de control. Su valor se determina aplicando la ecuación 14.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (14)$$

Donde:

d = Demora media de control (s/veh).

d_1 = Demora uniforme (s/veh).

d_2 = Demora incremental (s/veh).

d_3 = Demora de cola inicial(s/veh).

PF = Factor de ajuste de demora uniforme por coordinación.

2.2.32. Factor de ajuste por coordinación “ PF ”

La demora vehicular se origina por la duración del ciclo semafórico, motivo por el cual se incorpora este factor en el análisis. Un ciclo de semaforización se considera óptimo cuando la mayoría de los vehículos llega a la intersección durante la fase verde. Se detalla en la ecuación 15.

$$PF = \frac{(1 - P) * f_{PA}}{1 - \left(\frac{g}{C}\right)} \quad (15)$$

Donde:

P = Porcentaje de vehículos que llegan en tiempo verde.

g = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles (segundos)

C = Ciclo del semáforo (segundos)

f_{PA} = Factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan durante el verde.

El valor del factor PPP puede determinarse directamente en campo o, alternativamente, estimarse de acuerdo con el tipo de patrón de llegada a la intersección, utilizando como referencia las Tablas 6 y 7.

Tabla 6

Tipos de llegada HCM 2010

Relación g/C	Tipo de llegada (AT)					
	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6
0,2	1,167	1,007	1	1	0,833	0,75
0,3	1,286	1,063	1	0,986	0,714	0,571
0,4	1,445	1,136	1	0,895	0,555	0,333
0,5	1,667	1,24	1	0,767	0,333	0
0,6	2,001	1,395	1	0,576	0	0

0,7	2,556	1,653	1	0,256	0	0
f_{PA}	1	0,93	1	1,15	1	1
Rp por defecto	0,333	0,667	1	1,333	1,667	2

Nota. (HCM 2010).

Tabla 7

Tipos de llegada HCM 2010

Tipo de llegada	Rango de pelotón (Rp)	Valor por defecto (Rp)	Calidad de la progresión
1	$\leq 0,50$	0,333	Muy pobre
2	$> 0,50 - 0,85$	0,667	Desfavorable
3	$> 0,85 - 1,15$	1	Llegadas aleatorias
4	$> 1,15 - 1,50$	1,333	Favorable
5	$> 1,50 - 2,00$	1,667	Altamente favorable
6	$> 2,00$	2	Excepcional

Nota. (HCM 2010).

2.2.33. Demora incremental “ d_2 ”

Los errores en el ciclo de semaforización, junto con el patrón de llegada de los vehículos a la intersección, provocan una demora adicional denominada demora incremental, que se determina aplicando la fórmula 16.

$$d_2 = 900 * T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 * k * l * X}{c * T}} \right] \quad (16)$$

Donde:

T = Duración de periodo de análisis (0.25h)

X = Relación volumen – capacidad del grupo de carril

k = Factor de demora incremental que depende del ajuste de los controladores en intersecciones actuadas, $k = 0,50$ para intersecciones fijas.

l = Factor de ajuste por entradas en la intersección corriente arriba, $l = 1,00$ para intersecciones aisladas.

2.2.34. Demora por cola inicial “d3”

Este tipo de demora considera las colas de vehículos que permanecen de ciclos semafóricos previos, asignándose un valor de 0 cuando no se presentan colas residuales. Como se detalla en la ecuación 17.

$$t = \min \left\{ T, \frac{Qb}{c * [1 - \min(1, X)]} \right\} \quad (17)$$

En el caso de que el valor de t sea menor que T , se asigna $u=0$. Por otro lado, cuando X supera el valor de 1, se considera que $t=T$. Como se detalla en la ecuación 18.

$$d_3 = \frac{1800 * Qb * (1 + u)^t}{c * T} \quad (18)$$

Donde:

Qb = Cola inicial al inicio del periodo T (veh)

c = Capacidad del grupo de carril (veh/h)

T = Duración de periodo de análisis (0,25h)

u = Parámetro de demora

t = Duración de la demanda insatisfecha (horas)

2.2.35. Demora uniforme “d1”

Este tipo de demora se presenta cuando las llegadas vehiculares son uniformes, manteniendo un flujo estable y sin generar colas iniciales en la intersección. El valor se determina aplicando la ecuación 19.

$$d_1 = \frac{0,50 * C * \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) * \frac{g}{C}\right]} \quad (19)$$

Donde:

X = Relación volumen – capacidad.

g = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles (segundos)

C = Ciclo del semáforo (segundos).

De acuerdo con la Tabla 8, las demoras vehiculares pueden clasificarse según las condiciones operativas y el comportamiento del flujo de tránsito.

Tabla 8

Tipos de llegada HCM 2010

Caso I y II ($Qb = 0$)	
Demora por cola inicial, d_3 (s)	$d_3 = 0 \text{ seg}$
Demora uniforme, d_1 (s)	$d_1 = \frac{0,5 * C * \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left(\min 1, X * \frac{g}{C}\right)}$
Caso III ($Qb > 0$), ($X \leq 1$), ($t < T$), $u = 0$	
Demora por cola inicial, d_3 (s)	$d_3 = \frac{1800 * Qb * t}{c * T}$
Demora uniforme, d_1 (s)	$d_1 = 0,5 * C * \left(1 - \frac{g}{C}\right) * \frac{t}{T} + \frac{0,5 * C * \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left(\min 1, X * \frac{g}{C}\right)} * \frac{T - t}{T} * PF$
Caso IV ($Qb > 0$), ($X \leq 1$), ($t = T$)	
Parámetro de demora, u	$u = 1 - \frac{c * T}{Qb} * (1 - \min 1, X)$
Demora por cola inicial, d_3 (s)	$d_3 = \frac{1800 * Qb * (1 + u) * t}{c * T}$
Demora uniforme, d_1 (s)	$d_1 = 0,5 * C * \left(1 - \frac{g}{C}\right)$
Caso V ($Qb > 0$), ($X > 1$), ($t = T$)	
Demora por cola inicial, d_3 (s)	$d_3 = \frac{3600 * Qb}{c}$

Demora uniforme, d_1 (s)

$$d_1 = 0,5 * C * \left(1 - \frac{g}{C}\right)$$

Nota. (HCM 2010).

2.3. Definición de Términos

2.3.1. Capacidad vial

Corresponde al número promedio de vehículos presentes en un segmento de vía en un instante dado, generalmente expresado en vehículos por kilómetro o vehículos por kilómetro por carril; también puede aplicarse al conteo de peatones (Cortes, 2016).

2.3.2. Densidad

Corresponde al número promedio de vehículos presentes en un segmento de vía en un instante dado, generalmente expresado en vehículos por kilómetro o vehículos por kilómetro por carril; también puede aplicarse al conteo de peatones (Board, 2000).

2.3.3. Flujo vehicular

El flujo vehicular se define como la cantidad de vehículos que pasan por una sección específica de la vía durante una unidad de tiempo (Sarango y Díaz, 2020).

2.3.4. Horas pico

Las horas pico se refieren a los periodos del día en los cuales se presenta un nivel elevado de congestión vehicular (Machaca, 2016).

2.3.5. Intersección

Una intersección vial es un componente de la infraestructura que permite la conexión o cruce entre diferentes vías (Osore, 2015).

2.3.6. Niveles de servicio

Constituyen una medida cualitativa que describe las condiciones operativas del flujo vehicular y la percepción de los usuarios, considerando variables como la velocidad, el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, las interrupciones del tránsito, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial (Cortes, 2016).

2.3.7. Solución vial

Son estrategias o medidas propuestas con el propósito de evitar situaciones críticas de congestión o desorden en determinadas vías o carreteras (Das Neves et al., 2010).

2.3.8. Tráfico vehicular

Se entiende como el fenómeno generado por la alta concentración de vehículos que circulan por una calle, avenida o carretera, especialmente durante las horas de mayor demanda (Ruiz de Somocurcio, 2008).

2.3.9. Tráfico

Hace referencia al movimiento o circulación de vehículos y/o peatones a través de las diferentes vías urbanas o carreteras (Lizarbe y Chambillo, 2016).

2.3.10. Transitabilidad

Es la capacidad de una vía para permitir el desplazamiento continuo de los vehículos sin interrupciones significativas en un punto determinado (MTC, 2018).

2.3.11. Tránsito

Se define como el desplazamiento de personas y bienes con un propósito determinado, a través de distintos medios o vías (Lizarbe y Chambillo, 2016).

2.3.12. Transportar

El transporte se concibe como la acción de trasladar objetos, personas o bienes de un lugar a otro (Pereda y Montoya, 2018).

2.3.13. Volumen de tránsito

Es el número de los vehículos que transitan por un punto específico (Henríquez, 2019).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación fue no experimental, ya que se desarrolló bajo un diseño no experimental, en el cual no se manipularon intencionalmente las variables del entorno, sino que se observó la situación actual tal como se presentó en su contexto natural. La información se recopiló en un momento específico, por lo tanto, se trató de un diseño transversal. Asimismo, el estudio fue propositivo, dado que se plantearon alternativas de solución a la problemática identificada.

3.2. Acciones y actividades

La primera actividad consistió en la ejecución de un estudio de tráfico mediante el conteo vehicular, con el propósito de determinar el volumen de tránsito existente en el área de análisis, identificar la máxima demanda vehicular, calcular el Índice Medio Diario Anual (IMDA) y clasificar los diferentes tipos de vehículos que circularon por la intersección.

La segunda acción correspondió al levantamiento topográfico, mediante el cual se obtuvieron las dimensiones precisas de la intersección, garantizando la exactitud de los puntos de control y la adecuada representación de las características geométricas del área en estudio.

La tercera acción consistió en el diseño geométrico de la intersección mencionada.

La cuarta acción que se llevó a cabo fue la elección de la propuesta que obtuvo los mejores resultados,

3.3. Materiales e instrumentos

Se utilizaron dos instrumentos para la recolección de datos: el primero fue la ficha de apuntes, en la cual se registraron los datos observados en la zona de estudio, y el segundo fue la ficha técnica de conteo vehicular, fundamental para el llenado del formato correspondiente.

Para el procesamiento de datos se utilizaron tres instrumentos: el Manual DG-2018, el software Google Earth, el software AutoCAD Civil 3D.

3.4. Población y muestra de estudio

La población del estudio estuvo conformada por el flujo de todas las intersecciones de la Av. Grau (desde la Av. Bolognesi hasta el óvalo Callao) y la Av. Cusco (Desde Av. 2 de mayo hasta Ovalo Cusco), en la provincia de Tacna, departamento de Tacna.

La muestra estuvo conformada por el flujo de la intersección conformada por el cruce de la Av. Cusco con la Av. Grau, correspondientes a las estaciones 1-2 y 3-4. La selección de esta muestra se realizó mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, dado que el estudio se enfocó específicamente en esta intersección. Por ello, se consideraron ambas intersecciones como unidad muestral, al ser el ámbito donde se presenta la problemática de transitabilidad que se buscó analizar y mejorar. Esta delimitación metodológica permitió evaluar de manera integral el comportamiento vehicular y proponer alternativas de solución directamente vinculadas al área definida como objeto de estudio.

3.5. Operacionalización de variables

De acuerdo con la Tabla 9, se presenta la operacionalización de variables de estudio, mientras que en el anexo 1 se puede apreciar dichas variables y su relación con los objetivos y la metodología.

Tabla 9

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: Propuesta viable	La propuesta vial corresponde a alguna metodología o plan que se elabora con el fin de evitar la congestión vial, beneficiando al tránsito de vehículos y peatones en una determinada vía o intersección.	Diseño geométrico	- Radio de giro adecuado. - Número de carriles. - Ancho de calzada.
		Señalización y semaforización	- Existencia de señales verticales y horizontales. - Semáforos operativos.
		Gestión del tránsito	- Propuesta de sentido vial. - Redistribución de flujos vehiculares.
		Seguridad vial	- Reducción proyectada de puntos de conflicto. - Incorporación de zonas seguras peatonales.
		Accesibilidad	- Mejora en los accesos a la intersección. - Integración con otras vías.

Tabla 9 (continuación)

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable dependiente: Transitabilidad vehicular	La transitabilidad se refiere a la capacidad que tienen los vehículos para desplazarse de manera continua y sin interrupciones en una zona o área específica.	Flujo vehicular	- Volumen vehicular por hora (veh/h). - Frecuencia de congestión.
		Capacidad vial	- Nivel de servicio. - Saturación de la vía.
		Tiempos de desplazamiento	- Tiempo promedio de cruce/intersección (segundos). - Tiempo de espera promedio.
		Seguridad vial	- Número de conflictos o incidentes viales observados. - Presencia de señalización visible.

3.6. Procesamiento y análisis de datos

En base a la información disponible y a la que se recolectó en campo mediante la observación, se analizó el flujo vehicular existente en la intersección vial de la Av. Cusco con la Av. Grau, en la ciudad de Tacna. Para el procesamiento y evaluación técnica de la información, se hizo una evaluación sobre el comportamiento del tránsito actual y evaluar distintos escenarios de mejora.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Descripción general

4.1.1 Zona de ubicación

Según la Tabla 10, La zona de ubicación, provincia, departamento, distrito y localidad es Tacna.

Como se muestra en la Figura 6, se presenta la ubicación y distribución de los puntos de evaluación considerados para el análisis vehicular en la intersección estudiada.

Tabla 10

Zona de ubicación

Descripción	Zona
Ubicación	Tacna
Departamento	Tacna
Provincia	Tacna
Distrito	Tacna
Localidad	Tacna

Figura 6

Vista satelital de la intersección 1 y de la intersección 2



4.1.2 Ubicación geográfica

La ubicación geográfica según coordenadas:

Intersección 1 – Av. Cusco – Av. Grau (Sentido de norte a sur), detallada en la Tabla 11.

Tabla 11

Ubicación geográfica intersección 1

Descripción	Coordenadas
Este	367322,014
Norte	8007534,878

Intersección 2 – Av. Cusco – Av. Grau (Sentido de sur a norte), detallada en la Tabla 12

Tabla 12

Ubicación geográfica intersección 2

Descripción	Coordenadas
Este	367324,658
Norte	8007488,307

4.1.3 Sección vial

En la figura 7 se puede visualizar la sección vial de las intersecciones a estudiar, mientras que en las figuras 8, 9 ,10 y 11 se visualizan sus respectivos cortes.

Figura 7

Sección vial de las intersecciones 1 y 2

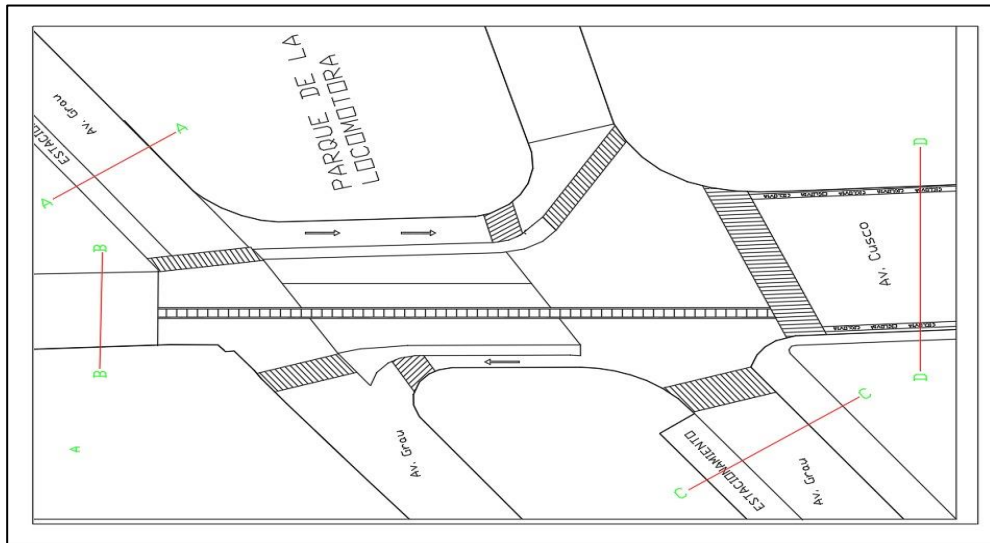


Figura 8

Corte A-A (Av. Grau)

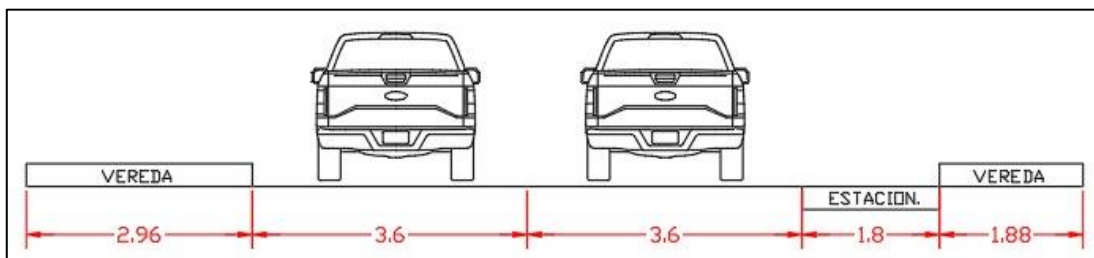


Figura 9

Corte B-B (Av. Cusco)

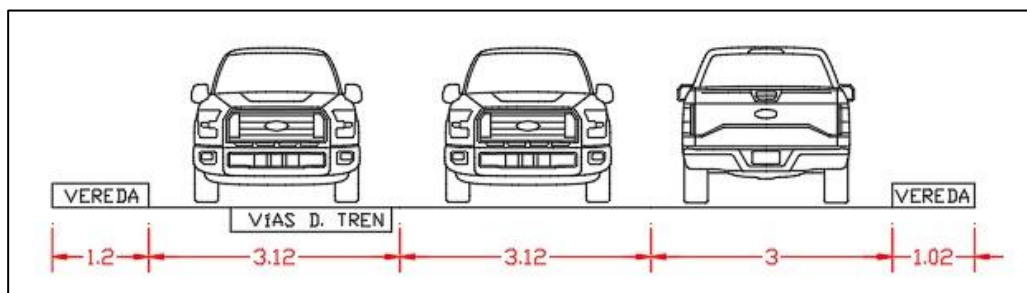
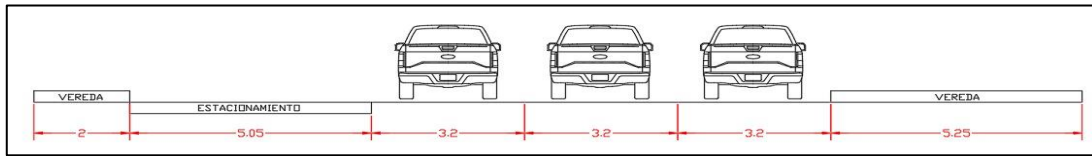
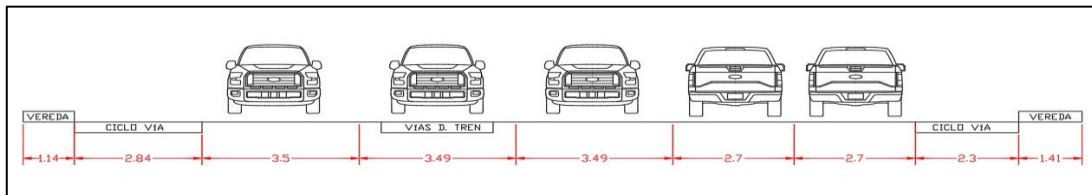


Figura 10*Corte C-C (Av. Grau)***Figura 11***Corte D-D (Av. Cusco)*

4.1.4 Semaforización

El sector donde se desarrolló la presente investigación cuenta con semáforos vehiculares y peatonales ubicados en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau. En las Figuras 12 y 13 se muestra el flujo vehicular existente en esta zona, la cual es controlada por semáforos que tienen la función de regular y ordenar el tránsito en dicha intersección. Sin embargo, se observa que durante las horas pico se presentan congestiones vehiculares significativas, generando situaciones críticas que afectan la fluidez del tránsito y la seguridad vial en el área de estudio.

Figura 12*Tráfico en la intersección Av. Cusco con Av. Grau*

Figura 13

Tráfico en la intersección Av. Cusco con Av. Grau



4.1.5 Características geométricas de la intersección vial

El propósito de definir las características geométricas de las vías urbanas que confluyen en la intersección vial de la Av. Cusco con la Av. Grau es determinar la condición actual de cada vía y de todos los elementos que la conforman. Una vez identificadas y descritas dichas características, se procede a realizar las mediciones correspondientes de la infraestructura vial.

La intersección analizada está conformada por cuatro accesos principales, cada uno de ellos con sus respectivos carriles, los cuales se detallan a continuación:

- Norte-Este: Tiene dos carriles de ingreso (Av. Grau), estudiado por la estación 1. Este acceso es representado por una flecha color rojo.
- Norte: Tiene un carril de ingreso (Av. Cusco), estudiado por la estación 2. Este acceso es representado por una flecha color azul.
- Sureste: Tiene tres carriles de ingreso (Av. Grau), estudiado por la estación 3. Este acceso es representado por una flecha color verde.
- Sur: Tiene dos carriles de ingreso (Av. Cusco), estudiado por la estación 4. Este acceso es representado por una flecha color celeste.

Como se muestra en la Figura 14, la intersección presenta condiciones actuales de congestión vehicular y conflictos de tránsito que afectan la circulación y seguridad de los usuarios.

Figura 14

Vista en planta de la intersección vial



Nota. Imagen de Google Earth

4.2. Estudio de tráfico

4.2.1. Inspección visual

El propósito de definir las características geométricas de las vías urbanas que convergen en la intersección de la Av. Bolognesi con la Av. Cusco y Av. Grau es comprender su configuración y funcionamiento. Para el desarrollo de esta tesis, se inició con un análisis general de la intersección vial, observando los movimientos vehiculares, las direcciones de desplazamiento y los tipos de vehículos que circulan con mayor frecuencia, ya sean livianos, pesados o especiales. La inspección visual preliminar resultó fundamental, ya que permitió identificar posibles aspectos no considerados en la metodología y prevenir errores durante el registro de los aforos vehiculares.

4.2.2. Forma de registro de datos

Para la realización de los conteos vehiculares fue necesario definir el método de recolección de datos, dado que de ello depende la precisión en la determinación de los volúmenes de tráfico que atraviesan la intersección vial. En este estudio se optó por el método de aforo manual, mediante el cual se obtuvo información detallada sobre la composición vehicular, los volúmenes de giro en cada dirección y los volúmenes específicos por carril presentes en la intersección analizada.

Como se muestra en la Figura 15, se presenta el formato empleado para el conteo vehicular, utilizado para registrar y clasificar el flujo de vehículos en la intersección evaluada.

Figura 15

Formato utilizado para el conteo vehicular

HORA DE CONTEO	VEHICULO MEDIO						VOLUMENES DE TRANSITO - VEHIC																		TRAFFIC POR SEMAFORO	IMP TOTAL												
	AVTO	MOTO	OTRO	ETA	PANEL	OTRO	CAMION						SEMIBALLEN						TRAILERS																			
							2E	3E	4E	5E	6E	7E	8E	9E	10E	11E	12E	13E	14E	15E	16E	17E	18E	19E	20E	21E	22E	23E	24E	25E	26E	27E	28E	29E	30E			
1:00 - 1:15 pm																																						
1:15 - 1:30 pm																																						
1:30 - 1:45 pm																																						
1:45 - 2:00 pm																																						
2:00 - 2:15 pm																																						
2:15 - 2:30 pm																																						
2:30 - 2:45 pm																																						
2:45 - 3:00 pm																																						
3:00 - 3:15 pm																																						
3:15 - 3:30 pm																																						
3:30 - 3:45 pm																																						
3:45 - 4:00 pm																																						
4:00 - 4:15 pm																																						
4:15 - 4:30 pm																																						
4:30 - 4:45 pm																																						
4:45 - 5:00 pm																																						
5:00 - 5:15 pm																																						
5:15 - 5:30 pm																																						
5:30 - 5:45 pm																																						
5:45 - 6:00 pm																																						
6:00 - 6:15 pm																																						
6:15 - 6:30 pm																																						
6:30 - 6:45 pm																																						
6:45 - 7:00 pm																																						
7:00 - 7:15 pm																																						
7:15 - 7:30 pm																																						
7:30 - 7:45 pm																																						
7:45 - 8:00 pm																																						
8:00 - 8:15 pm																																						
8:15 - 8:30 pm																																						
8:30 - 8:45 pm																																						
8:45 - 9:00 pm																																						
9:00 - 9:15 pm																																						
9:15 - 9:30 pm																																						
9:30 - 9:45 pm																																						
9:45 - 10:00 pm																																						
10:00 - 10:15 pm																																						
10:15 - 10:30 pm																																						
10:30 - 10:45 pm																																						
10:45 - 11:00 pm																																						
11:00 - 11:15 pm																																						
11:15 - 11:30 pm																																						
11:30 - 11:45 pm																																						
11:45 - 12:00 pm																																						
12:00 - 12:15 pm																																						
12:15 - 12:30 pm																																						
12:30 - 12:45 pm																																						
12:45 - 1:00 pm																																						
1:00 - 1:15 pm																																						
1:15 - 1:30 pm																																						
1:30 - 1:45 pm																																						
1:45 - 2:00 pm																																						
2:00 - 2:15 pm																																						
2:15 - 2:30 pm																																						
2:30 - 2:45 pm																																						
2:45 - 3:00 pm																																						
3:00 - 3:15 pm																																						
3:15 - 3:30 pm																																						
3:30 - 3:45 pm																																						
3:45 - 4:00 pm																																						
4:00 - 4:15 pm																																						
4:15 - 4:30 pm																																						
4:30 - 4:45 pm																																						
4:45 - 5:00 pm																																						
5:00 - 5:15 pm																																						
5:15 - 5:30 pm																																						
5:30 - 5:45 pm			</																																			

Posteriormente, los datos obtenidos se agruparon en intervalos horarios, con el propósito de identificar la hora pico de cada día, información esencial para determinar el día con mayor afluencia vehicular en la intersección analizada.

En la tabla 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19 se puede observar el conteo semanal que se hizo en intervalos de una y dos horas.

Tabla 13

Flujo por intervalos de 15 minutos y totales horarios en las avenidas Grau y Cuzco, lunes 25 de agosto de 2025

Intervalo de tiempo	Av. Grau		Av. Cuzco		Total	Intervalo por hora	Total por hora
	E1	E3	E2	E4			
7:00 – 7:15 a. m.	274	313	165	403	1155	7:00 – 8:00 a. m.	4641
7:15 – 7:30 a. m.	298	324	179	421	1221	7:15 – 8:15 a. m.	4603
7:30 – 7:45 a. m.	260	301	160	389	1110	7:30 – 8:30 a. m.	4531
7:45 – 8:00 a. m.	277	310	166	403	1155	7:45 – 8:45 a. m.	4630
8:00 – 8:15 a. m.	257	307	153	400	1117	8:00 – 9:00 a. m.	4716
8:15 – 8:30 a. m.	270	312	163	405	1149	—	—
8:30 – 8:45 a. m.	295	320	180	414	1209	—	—
8:45 – 9:00 a. m.	292	336	177	436	1241	—	—
12:00 – 12:15 p. m.	278	308	166	399	1151	12:00 – 1:00 p. m.	4522
12:15 – 12:30 p. m.	267	290	160	377	1094	12:15 – 1:15 p. m.	4486
12:30 – 12:45 p. m.	258	287	158	373	1076	12:30 – 1:30 p. m.	4495
12:45 – 1:00 p. m.	299	315	179	408	1201	12:45 – 1:45 p. m.	4566
1:00 – 1:15 p. m.	258	304	158	395	1115	1:00 – 2:00 p. m.	4608
1:15 – 1:30 p. m.	257	301	153	392	1103	—	—
1:30 – 1:45 p. m.	272	310	164	402	1148	—	—
1:45 – 2:00 p. m.	298	333	179	433	1243	—	—
6:00 – 6:15 p. m.	224	277	135	358	994	6:00 – 7:00 p. m.	4063
6:15 – 6:30 p. m.	242	284	143	369	1037	6:15 – 7:15 p. m.	4076
6:30 – 6:45 p. m.	211	270	130	352	963	6:30 – 7:30 p. m.	4104
6:45 – 7:00 p. m.	243	295	147	383	1069	6:45 – 7:45 p. m.	4266
7:00 – 7:15 p. m.	229	280	134	364	1007	7:00 – 8:00 p. m.	4316
7:15 – 7:30 p. m.	245	293	147	380	1065	—	—
7:30 – 7:45 p. m.	252	313	154	405	1124	—	—
7:45 – 8:00 p. m.	249	314	149	408	1119	—	—
Subtotal	6302	7295	3800	9469	26866		

Nota. E1 y E3 corresponden a la avenida Grau; E2 y E4 corresponden a la avenida Cuzco. Total de vehículos analizados: 26 866

Tabla 14

Flujo vehicular por intervalos de 15 minutos y totales horarios en las avenidas Grau y Cuzco, martes 26 de agosto de 2025

Intervalo de tiempo	E1	E3	E2	E4	Total	Intervalo por hora	Total por hora
7:00 – 7:15 a. m.	288	286	194	355	1123	7:00 – 8:00 a. m.	4520
7:15 – 7:30 a. m.	312	295	212	369	1188	7:15 – 8:15 a. m.	4485
7:30 – 7:45 a. m.	272	276	190	343	1081	7:30 – 8:30 a. m.	4420
7:45 – 8:00 a. m.	291	285	197	356	1129	7:45 – 8:45 a. m.	4517
8:00 – 8:15 a. m.	271	281	183	352	1087	8:00 – 9:00 a. m.	4602
8:15 – 8:30 a. m.	284	286	195	357	1123	—	—
8:30 – 8:45 a. m.	308	293	212	365	1178	—	—
8:45 – 9:00 a. m.	307	309	211	387	1214	—	—
12:00 – 12:15 p. m.	292	285	198	356	1131	12:00 – 1:00 p. m.	4441
12:15 – 12:30 p. m.	282	269	193	336	1080	12:15 – 1:15 p. m.	4400
12:30 – 12:45 p. m.	270	265	188	331	1054	12:30 – 1:30 p. m.	4400
12:45 – 1:00 p. m.	313	289	213	361	1176	12:45 – 1:45 p. m.	4470
1:00 – 1:15 p. m.	270	281	188	351	1090	1:00 – 2:00 p. m.	4508
1:15 – 1:30 p. m.	271	278	183	347	1079	—	—
1:30 – 1:45 p. m.	286	286	196	356	1124	—	—
1:45 – 2:00 p. m.	312	306	212	383	1213	—	—
6:00 – 6:15 p. m.	234	254	161	316	965	6:00 – 7:00 p. m.	3924
6:15 – 6:30 p. m.	250	259	167	323	999	6:15 – 7:15 p. m.	3929
6:30 – 6:45 p. m.	220	247	153	309	929	6:30 – 7:30 p. m.	3960
6:45 – 7:00 p. m.	252	270	173	336	1031	6:45 – 7:45 p. m.	4112
7:00 – 7:15 p. m.	239	254	159	318	970	7:00 – 8:00 p. m.	4163
7:15 – 7:30 p. m.	255	267	175	333	1029	—	—
7:30 – 7:45 p. m.	261	286	180	356	1082	—	—
7:45 – 8:00 p. m.	260	287	177	359	1082	—	—
Subtotal	6596	6693	4513	8357	26159		

Nota. E1 y E3 corresponden a estaciones ubicadas en la avenida Grau; E2 y E4 corresponden a estaciones ubicadas en la avenida Cuzco. Total de vehículos analizados: 26 159.

Tabla 15

Flujo vehicular por intervalos de 15 minutos y totales horarios en las avenidas Grau y Cuzco, miércoles 27 de agosto de 2025

Intervalo de tiempo	E1	E3	E2	E4	Total	Intervalo por hora	Total por hora
7:00 – 7:15 a. m.	286	275	174	407	1142	7:00 – 8:00 a. m.	4577
7:15 – 7:30 a. m.	309	284	185	423	1201	7:15 – 8:15 a. m.	4537
7:30 – 7:45 a. m.	269	266	166	393	1094	7:30 – 8:30 a. m.	4472
7:45 – 8:00 a. m.	289	273	172	406	1141	7:45 – 8:45 a. m.	4571
8:00 – 8:15 a. m.	270	269	160	403	1102	8:00 – 9:00 a. m.	4659
8:15 – 8:30 a. m.	283	274	171	409	1136	—	—
8:30 – 8:45 a. m.	305	282	187	418	1192	—	—
8:45 – 9:00 a. m.	306	296	185	442	1229	—	—
12:00 – 12:15 p. m.	290	275	173	405	1144	12:00 – 1:00 p. m.	4485
12:15 – 12:30 p. m.	281	258	168	383	1090	12:15 – 1:15 p. m.	4444
12:30 – 12:45 p. m.	267	256	164	377	1064	12:30 – 1:30 p. m.	4449
12:45 – 1:00 p. m.	309	279	186	413	1187	12:45 – 1:45 p. m.	4525
1:00 – 1:15 p. m.	267	272	164	400	1103	1:00 – 2:00 p. m.	4566
1:15 – 1:30 p. m.	270	268	160	397	1095	—	—
1:30 – 1:45 p. m.	285	275	172	408	1140	—	—
1:45 – 2:00 p. m.	309	297	185	438	1229	—	—
6:00 – 6:15 p. m.	232	243	139	359	973	6:00 – 7:00 p. m.	3958
6:15 – 6:30 p. m.	247	249	144	367	1007	6:15 – 7:15 p. m.	3964
6:30 – 6:45 p. m.	216	238	132	351	937	6:30 – 7:30 p. m.	3995
6:45 – 7:00 p. m.	249	260	150	382	1041	6:45 – 7:45 p. m.	4153
7:00 – 7:15 p. m.	236	244	137	363	980	7:00 – 8:00 p. m.	4210
7:15 – 7:30 p. m.	252	257	150	380	1039	—	—
7:30 – 7:45 p. m.	257	275	158	406	1096	—	—
7:45 – 8:00 p. m.	259	276	153	409	1097	—	—
Subtotal	6539	6439	3936	9541	26455		

Nota. E1 y E3 corresponden a estaciones ubicadas en la avenida Grau; E2 y E4 corresponden a estaciones ubicadas en la avenida Cuzco. Total de vehículos analizados: 26 455.

Tabla 16

Flujo vehicular por intervalos de 15 minutos y totales horarios en las avenidas Grau y Cuzco, jueves 28 de agosto de 2025

Intervalo de tiempo	E1	E3	E2	E4	Total	Intervalo por hora	Total por hora
7:00 – 7:15 a. m.	295	304	145	334	1078	7:00 – 8:00 a. m.	4339
7:15 – 7:30 a. m.	325	316	154	347	1142	7:15 – 8:15 a. m.	4303
7:30 – 7:45 a. m.	271	300	139	323	1033	7:30 – 8:30 a. m.	4243
7:45 – 8:00 a. m.	301	308	144	333	1086	7:45 – 8:45 a. m.	4337
8:00 – 8:15 a. m.	271	308	134	330	1043	8:00 – 9:00 a. m.	4398
8:15 – 8:30 a. m.	290	314	142	335	1081	—	—
8:30 – 8:45 a. m.	310	317	157	343	1127	—	—
8:45 – 9:00 a. m.	304	326	154	362	1146	—	—
12:00 – 12:15 p. m.	302	310	145	333	1090	12:00 – 1:00 p. m.	4278
12:15 – 12:30 p. m.	294	299	140	314	1047	12:15 – 1:15 p. m.	4227
12:30 – 12:45 p. m.	269	290	137	309	1005	12:30 – 1:30 p. m.	4219
12:45 – 1:00 p. m.	326	317	155	338	1136	12:45 – 1:45 p. m.	4297
1:00 – 1:15 p. m.	269	305	137	328	1039	1:00 – 2:00 p. m.	4337
1:15 – 1:30 p. m.	271	308	134	326	1039	—	—
1:30 – 1:45 p. m.	293	312	144	335	1084	—	—
1:45 – 2:00 p. m.	325	339	154	359	1177	—	—
6:00 – 6:15 p. m.	249	282	116	295	942	6:00 – 7:00 p. m.	3863
6:15 – 6:30 p. m.	268	293	121	302	984	6:15 – 7:15 p. m.	3880
6:30 – 6:45 p. m.	237	281	111	289	918	6:30 – 7:30 p. m.	3906
6:45 – 7:00 p. m.	274	307	125	314	1020	6:45 – 7:45 p. m.	4044
7:00 – 7:15 p. m.	255	292	114	297	958	7:00 – 8:00 p. m.	4084
7:15 – 7:30 p. m.	271	303	125	312	1011	—	—
7:30 – 7:45 p. m.	271	319	132	334	1056	—	—
7:45 – 8:00 p. m.	279	318	128	335	1060	—	—
Subtotal	6820	7368	3286	7825	25299		

Nota. E1 y E3 corresponden a estaciones ubicadas en la avenida Grau; E2 y E4 corresponden a estaciones ubicadas en la avenida Cuzco. Total de vehículos analizados: 25 299.

Tabla 17

Flujo vehicular por intervalos de 15 minutos y totales horarios en las avenidas Grau y Cuzco, viernes 29 de agosto de 2025

Intervalo de tiempo	E1	E3	E2	E4	Total	Intervalo por hora	Total por hora
7:00 – 7:15 a. m.	280	259	144	401	1084	7:00 – 8:00 a. m.	4388
7:15 – 7:30 a. m.	302	286	152	416	1156	7:15 – 8:15 a. m.	4367
7:30 – 7:45 a. m.	264	264	137	387	1052	7:30 – 8:30 a. m.	4305
7:45 – 8:00 a. m.	282	273	142	399	1096	7:45 – 8:45 a. m.	4399
8:00 – 8:15 a. m.	263	272	132	396	1063	8:00 – 9:00 a. m.	4484
8:15 – 8:30 a. m.	276	276	140	402	1094	—	—
8:30 – 8:45 a. m.	299	281	154	411	1145	—	—
8:45 – 9:00 a. m.	298	296	152	435	1181	—	—
12:00 – 12:15 p. m.	283	270	143	399	1095	12:00 – 1:00 p. m.	4297
12:15 – 12:30 p. m.	274	256	138	377	1045	12:15 – 1:15 p. m.	4257
12:30 – 12:45 p. m.	262	251	135	371	1019	12:30 – 1:30 p. m.	4264
12:45 – 1:00 p. m.	303	276	153	406	1138	12:45 – 1:45 p. m.	4339
1:00 – 1:15 p. m.	262	265	135	394	1056	1:00 – 2:00 p. m.	4377
1:15 – 1:30 p. m.	263	265	132	391	1051	—	—
1:30 – 1:45 p. m.	278	273	142	401	1094	—	—
1:45 – 2:00 p. m.	302	292	152	430	1176	—	—
6:00 – 6:15 p. m.	227	245	116	353	941	6:00 – 7:00 p. m.	3817
6:15 – 6:30 p. m.	241	248	119	361	969	6:15 – 7:15 p. m.	3823
6:30 – 6:45 p. m.	212	237	109	346	904	6:30 – 7:30 p. m.	3854
6:45 – 7:00 p. m.	244	259	124	376	1003	6:45 – 7:45 p. m.	4008
7:00 – 7:15 p. m.	230	247	113	357	947	7:00 – 8:00 p. m.	4062
7:15 – 7:30 p. m.	246	257	124	374	1001	—	—
7:30 – 7:45 p. m.	253	275	130	400	1058	—	—
7:45 – 8:00 p. m.	252	277	126	402	1057	—	—
Subtotal	6395	6401	3245	9386	25427		

Nota. E1 y E3 corresponden a estaciones ubicadas en la avenida Grau; E2 y E4 corresponden a estaciones ubicadas en la avenida Cuzco. Total de vehículos analizados: 25 427.

Tabla 18

Flujo vehicular por intervalos de 15 minutos y totales horarios en las avenidas Grau y Cuzco, sábado 30 de agosto de 2025

Intervalo de tiempo	E1	E3	E2	E4	Total	Intervalo por hora	Total por hora
7:00 – 7:15 a. m.	228	232	163	274	897	7:00 – 8:00 a. m.	3605
7:15 – 7:30 a. m.	247	242	175	285	949	7:15 – 8:15 a. m.	3577
7:30 – 7:45 a. m.	215	224	156	265	860	7:30 – 8:30 a. m.	3524
7:45 – 8:00 a. m.	231	232	163	273	899	7:45 – 8:45 a. m.	3603
8:00 – 8:15 a. m.	215	230	151	272	868	8:00 – 9:00 a. m.	3673
8:15 – 8:30 a. m.	226	234	161	276	897	—	—
8:30 – 8:45 a. m.	244	238	177	281	940	—	—
8:45 – 9:00 a. m.	244	252	175	297	968	—	—
12:00 – 12:15 p. m.	231	230	164	271	896	12:00 – 1:00 p. m.	3525
12:15 – 12:30 p. m.	224	218	159	257	858	12:15 – 1:15 p. m.	3494
12:30 – 12:45 p. m.	214	214	155	253	836	12:30 – 1:30 p. m.	3495
12:45 – 1:00 p. m.	248	235	175	277	935	12:45 – 1:45 p. m.	3553
1:00 – 1:15 p. m.	214	227	155	268	864	1:00 – 2:00 p. m.	3582
1:15 – 1:30 p. m.	215	226	151	266	858	—	—
1:30 – 1:45 p. m.	227	232	162	274	895	—	—
1:45 – 2:00 p. m.	247	249	175	294	965	—	—
6:00 – 6:15 p. m.	186	205	131	242	764	6:00 – 7:00 p. m.	3111
6:15 – 6:30 p. m.	198	210	136	248	792	6:15 – 7:15 p. m.	3118
6:30 – 6:45 p. m.	174	201	124	237	736	6:30 – 7:30 p. m.	3146
6:45 – 7:00 p. m.	199	219	141	258	817	6:45 – 7:45 p. m.	3270
7:00 – 7:15 p. m.	189	208	129	246	772	7:00 – 8:00 p. m.	3314
7:15 – 7:30 p. m.	202	218	142	257	819	—	—
7:30 – 7:45 p. m.	206	233	148	275	862	—	—
7:45 – 8:00 p. m.	207	234	145	276	862	—	—
Subtotal	5231	5442	3714	6423	20810		

Nota. E1 y E3 corresponden a estaciones ubicadas en la avenida Grau; E2 y E4 corresponden a estaciones ubicadas en la avenida Cuzco. Total de vehículos analizados: 20 810

Tabla 19

Flujo vehicular por intervalos de 15 minutos y totales horarios en las avenidas Grau y Cuzco, domingo 31 de agosto de 2025

Intervalo de tiempo	E1	E3	E2	E4	Total	Intervalo por hora	Total por hora
7:00 – 7:15 a. m.	188	191	129	222	730	7:00 – 8:00 a. m.	2944
7:15 – 7:30 a. m.	204	200	137	232	773	7:15 – 8:15 a. m.	2921
7:30 – 7:45 a. m.	178	186	124	216	704	7:30 – 8:30 a. m.	2879
7:45 – 8:00 a. m.	191	193	129	224	737	7:45 – 8:45 a. m.	2943
8:00 – 8:15 a. m.	177	191	118	222	708	8:00 – 9:00 a. m.	2996
8:15 – 8:30 a. m.	186	194	126	225	731	—	—
8:30 – 8:45 a. m.	201	198	139	230	768	—	—
8:45 – 9:00 a. m.	202	208	139	241	790	—	—
12:00 – 12:15 p. m.	197	193	129	228	747	12:00 – 1:00 p. m.	2947
12:15 – 12:30 p. m.	191	184	125	217	717	12:15 – 1:15 p. m.	2923
12:30 – 12:45 p. m.	182	182	123	215	702	12:30 – 1:30 p. m.	2919
12:45 – 1:00 p. m.	210	199	138	235	782	12:45 – 1:45 p. m.	2964
1:00 – 1:15 p. m.	182	192	123	227	724	1:00 – 2:00 p. m.	2989
1:15 – 1:30 p. m.	182	189	118	223	712	—	—
1:30 – 1:45 p. m.	193	195	128	231	747	—	—
1:45 – 2:00 p. m.	210	211	137	249	807	—	—
6:00 – 6:15 p. m.	158	176	105	208	647	6:00 – 7:00 p. m.	2645
6:15 – 6:30 p. m.	170	182	110	215	677	6:15 – 7:15 p. m.	2654
6:30 – 6:45 p. m.	148	173	101	204	626	6:30 – 7:30 p. m.	2674
6:45 – 7:00 p. m.	170	189	114	223	696	6:45 – 7:45 p. m.	2774
7:00 – 7:15 p. m.	161	180	104	212	657	7:00 – 8:00 p. m.	2805
7:15 – 7:30 p. m.	173	188	114	221	696	—	—
7:30 – 7:45 p. m.	174	199	119	235	727	—	—
7:45 – 8:00 p. m.	176	198	117	234	725	—	—
Subtotal	4403	4590	2946	5387	17325		

Nota. E1 y E3 corresponden a estaciones ubicadas en la avenida Grau; E2 y E4 corresponden a estaciones ubicadas en la avenida Cuzco. Total de vehículos analizados: 17 325.

4.2.4. Selección de hora pico

Con base en el total de vehículos por hora presentado en las figuras anteriores, se determinó que la hora pico correspondiente a cada día fue la siguiente:

- Lunes 25/08/2025: De 08:00 a 09:00 a.m. con un total de 4716 veh/h. (Ver Tabla 13).
- Martes 26/08/2025: De 08:00 a 09:00 a.m. con un total de 4602 veh/h. (Ver Tabla 14).
- Miércoles 27/08/2025: De 08:00 a 09:00 a.m. con un total de 4659 veh/h. (Ver Tabla 15).
- Jueves 28/08/2025: De 08:00 a 09:00 a.m. con un total de 4398 veh/h. (Ver Tabla 16).
- Viernes 29/08/2025: De 08:00 a 09:00 a.m. con un total de 4484 veh/h. (Ver Tabla 17).
- Sábado 30/08/2025: De 08:00 a 09:00 a.m. con un total de 3673 veh/h. (Ver Tabla 18).
- Domingo 31/08/2025: De 01:00 a 02:00 p.m. con un total de 2989 veh/h. (Ver Tabla 19).

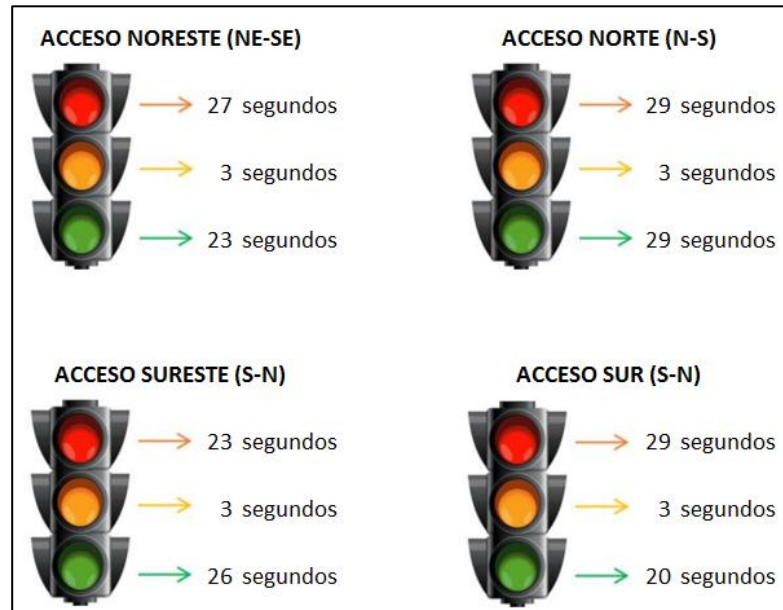
4.2.5. Tiempo de los semáforos

La intersección vial cuenta con semaforización en sus cuatro accesos de entrada, disponiendo de un semáforo por cada grupo de carriles en las direcciones noreste, norte, sureste y sur, respectivamente.

En cuanto a los movimientos permitidos de manera simultánea, esta intersección opera bajo un sistema de cuatro fases. Durante el estudio, se registraron los tiempos de luz roja, ámbar y verde de los cuatro semáforos ubicados en el cruce, información que fue recopilada directamente en campo para su posterior análisis técnico, tal como se muestra en la Figura 16.

Figura 16

Tiempo de semaforización



4.2.6. Análisis de la hora pico

Una vez realizados los conteos vehiculares y determinada la hora punta, se procedió al procesamiento y análisis de los datos obtenidos, con el fin de representar el número total de vehículos mixtos y las magnitudes correspondientes a cada tipo de vehículo.

Cada categoría vehicular fue agrupada de acuerdo con el giro codificado que le correspondía (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 y C10), con el propósito de obtener el total de vehículos mixtos por movimiento identificado y permitido en cada uno de los accesos. Para una mejor comprensión del proceso y los resultados, se presenta la Figura 17.

El acceso noreste, correspondiente a la Av. Grau, cuenta con dos carriles de ingreso; uno de ellos permite tres giros: a la izquierda, en línea recta y a la derecha, siendo analizado por la estación 1.

El acceso norte dispone de un carril con dos movimientos: de frente y a la derecha, evaluado por la estación 2.

El acceso sureste presenta tres carriles, los cuales permiten giros a la izquierda, de frente y a la derecha, estudiados por la estación 3. Finalmente, el acceso sur, también perteneciente a la Av. Grau, posee dos carriles de

ingreso, incluyendo uno con tres movimientos posibles: a la izquierda, de frente y a la derecha, correspondiente a la estación 4.

Figura 17

Movimientos identificados en cada acceso

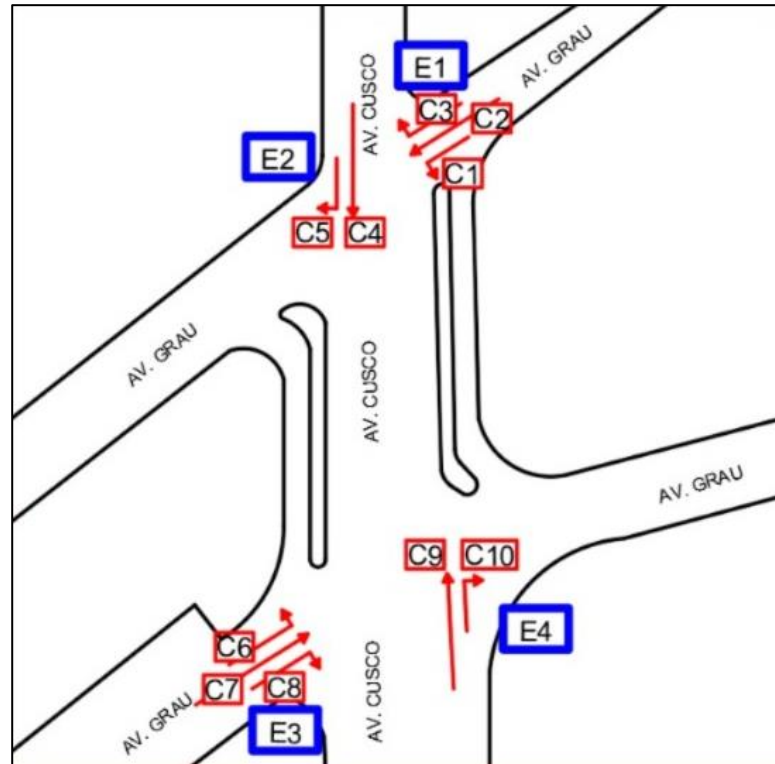


Tabla 20

Volumen máximo de vehículos durante 15 minutos de flujo vehicular

Acceso	E1		E2			E3		E4		
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
8:00 - 8:15 am	65	115	77	92	61	62	130	115	135	265
		257		153			307		400	
8:15 - 8:30 am	69	136	65	96	67	72	128	112	127	278
		270		163			312		405	
8:30 - 8:45 am	63	145	87	106	74	65	135	120	124	290
		295		180			320		414	
8:45 - 9:00 am	61	139	92	101	76	70	140	126	307	129
		292		177			336		436	

De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó que el flujo máximo ($q_{\text{máx}}$) durante la hora crítica fue el siguiente:

- En el Acceso E1 (estación 1) se registraron 295 vehículos de 8:30 a 8:45 a.m.
- En el Acceso E2 (estación 2), 180 vehículos en el mismo periodo (8:30 – 8:45 a.m.)
- En el Acceso E3 (estación 3) se observó un flujo de 336 vehículos durante el intervalo 8:45 – 9:00 a.m.
- En el Acceso E4 (estación 4), se contabilizaron 436 vehículos en el mismo lapso de 8:45 – 9:00 a.m.

Posteriormente, se procedió a determinar el volumen vehicular horario, seleccionando los 15 minutos de mayor congestión (Tabla 20), los cuales sirvieron como base para obtener la hora más crítica de operación. La selección de estos intervalos pico permitió identificar el escenario más desfavorable de tránsito, es decir, el comportamiento vehicular más exigente que podría presentarse en la intersección. Por ello, al suponer que dicho flujo máximo ($q_{\text{máx}}$) se mantiene constante durante toda la hora —multiplicándolo por 4— se obtuvo la hora más crítica simulada, como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21

Vehículos por hora

Acceso	E1			E2			E3		E4	
Movimiento	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Veh/h	252	580	348	424	296	280	560	504	1228	516
Total, Veh/h	1180			720			1344		1744	

Respecto a la Tabla 22, los datos presentados fueron obtenidos considerando el total de vehículos por hora correspondiente a cada movimiento y el número de vehículos pesados que circulan por cada acceso. A partir de esta información, se determinó la relación porcentual entre ambos valores, lo que permitió cuantificar la proporción de vehículos pesados en cada uno de los accesos de la intersección analizada.

Tabla 22*Porcentaje de vehículos pesados por acceso*

Acceso	E1			E2			E3		E4	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Movimiento										
Total, Veh/h	252	580	348	424	296	280	560	504	1228	516
Veh/h	25	86	2	6	3	5	81	46	6	78
%	10	15	1	1	1	2	14	9	0	15

En lo que respecta a la Tabla 23, los datos fueron registrados mediante aforo manual en campo, contabilizando cada ocasión en que alguna de las líneas de transporte urbano transitó por la Av. Cusco y la Av. Grau en sus respectivos accesos. Esto permitió determinar con precisión el número de detenciones de transporte público en cada punto de la intersección.

Tabla 23*Vehículos de transporte público que paran por acceso*

Acceso	E1			E2			E3		E4	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Movimiento										
Veh/h	0	0	10	5	15	26	19	18	15	16
Total	10			20			63		31	

Otro aspecto considerado fue el número de peatones que cruzaron por los diferentes accesos de la intersección, información que se presenta en la Tabla 24. Estos datos fueron registrados mediante aforo manual en campo, teniendo en cuenta la dirección de desplazamiento de cada peatón, lo que permitió obtener un registro detallado del flujo peatonal en la intersección.

Tabla 24*Numero de peatones por hora*

Acceso	E1			E2			E3		E4	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Movimiento										
Veh/h	45	58	26	15	31	44	69	54	48	71
Total	10			20			63		31	

4.2.7. Parámetro de análisis básicos

Tal como se muestra en la Tabla 25, se presentan los resultados obtenidos del análisis vehicular realizado en la intersección evaluada.

Tabla 25

Parámetros de la Estación 1,2,3 y 4 de la intersección Av. Grau con Av. Cusco

		Av. Grau (NE-SE)	Av. Cusco (N-S)	Av. Grau (SE-NE)	Av. Cusco (S-N)
Tipo de Condición	Parámetros	E1	E2	E3	E4
Geométricas	Tipo de área	No CBD	No CBD	No CBD	No CBD
	Número de Carriles (N)	2	1	3	2
	Ancho promedio de carriles (W)	3,6	3	3,2	2,7
	Pendiente (G%)	3	0	0	0
	Existencia de carriles exclusivos, LT o RT	no	no	no	no
	Extensión de bahías, LT o RT, Ls(m)	no	no	no	no
	Estacionamiento	si	no	si	no
De Tránsito	Flujo de saturación base (So veh/h)	1900	1900	1900	1900
	Flujo peatonal en el acceso (peatones/h)	31	12	54	40
	Transporte público que paran en la intersección (Nb Veh/h)	20	0	35	22
	Actividad en estacionamiento (Nm maniobras/h)	4	0	5	0
	Velocidad de aproximación (km/h)	40	40	40	40
Semáforicas	Longitud del ciclo (C) (s)	53	61	52	52
	Tiempo en verde (G) (s)	23	29	26	20
	Todo rojo+amarillo, intervalo de cambio y despeje, entre verde (Y)(s)	3	3	3	3
	Operación accionada o prefija	no	no	no	no
	Botón peatonal	0	0	0	0
	Verde mínimo peatonal (s)	0	0	0	0
	Plan de fases	2	2	2	2
Periodo de análisis (T)(h)	0,25	0,25	0,25	0,25	

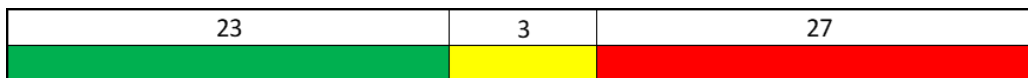
4.2.3.1. Nivel de servicio estación 1

Fases de semaforización

Contamos con solamente una fase, esta fase se encuentra en la Av. Grau con sentido norte a sur, detallado en la Figura 18.

Figura 18

Fase de Semaforización en la intersección de Av. Grau con Av. Cusco (NE-SE)

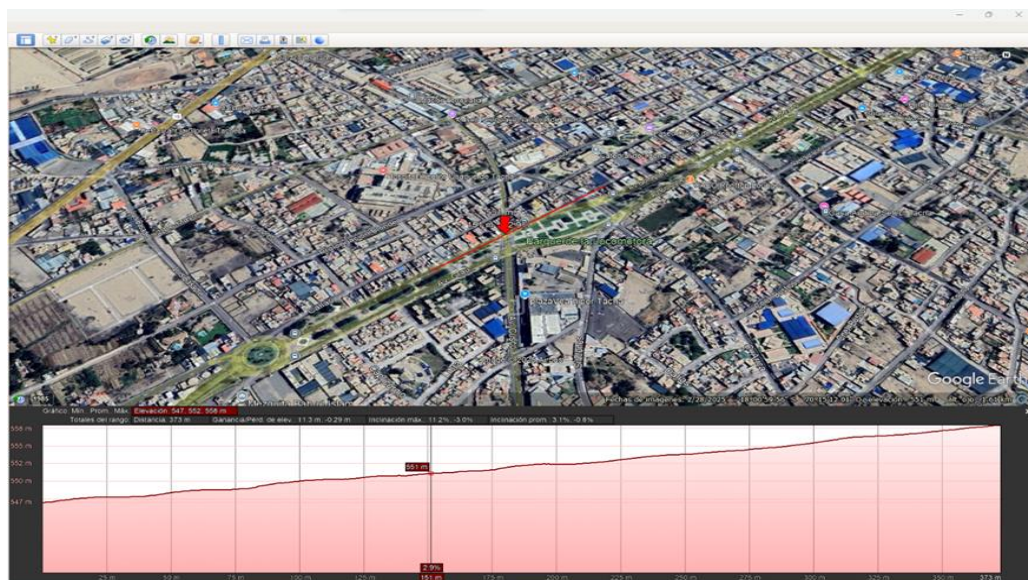


Pendiente:

Se obtuvo una pendiente de 3% en esta estación, fue sacada de Google Earth, detallado en la Figura 19.

Figura 19

Pendiente de la estación 1 en la intersección de Av. Grau -Av. Cusco



Nota. Imagen de Google Earth

Ancho de Carril (Fw), detallada en la ecuación 4.

Donde $w=3,6$

$$F_w = 1 + \frac{3,6 - 3,6}{9}$$

$$F_w = 1$$

Vehículos pesados F_{HV} , detallado en la ecuación 5.

Donde:

$$P_{HV} = 2$$

$$ET = 2,4 \text{ autos/pesados}$$

$$F_{HV} = \frac{100}{100 + 2 * (2,4 - 1)}$$

$$F_{HV} = 0,973$$

- Factor de ajuste por pendiente de acceso F_g , detallado en la ecuación 6.

Donde:

$$\%G = 3$$

$$F_g = 1 - \frac{3}{200}$$

$$F_g = 0,985$$

Factor de ajuste por estacionamiento F_p , detallado en la ecuación 7.

Donde:

$$N = 2$$

$$Nm = 4$$

$$F_p = \frac{2 - 0,1 - \frac{18 * 4}{3600}}{2}$$

$$F_p = 0,94$$

Factor de ajuste por bloqueo de buses F_{bb} , detallado en la ecuación 8.

Donde:

$$N = 2$$

$$Nb = 20$$

$$F_{bb} = \frac{2 - \frac{14,4 * 20}{3600}}{2}$$

$$F_{bb} = 0,96$$

- Factor de ajuste tipo de área F_a :

En otras áreas $F_a = 1$

- Factor de ajuste por utilización de carriles F_{LU} , detallado en la ecuación 9.

El grupo de carriles tiene un carril exclusivo o compartido, por lo tanto, $F_{LU} = 1$

- Factor de ajuste por vueltas a la izquierda F_{LT} , detallado en la ecuación 20.

$$F_{LT} = \frac{1}{1 - 0,05(P_{LT})} \quad (20)$$

Donde:

$$P_{RT} = 0,2136$$

$$F_{LT} = \frac{1}{1 - 0,05(0,2136)}$$

$$F_{LT} = 1,011$$

- Factor de ajuste por vueltas a la derecha F_{RT} , detallado en la ecuación 21.

$$F_{RT} = 1 - 0,15 * (P_{RT}) \quad (21)$$

Donde:

$$P_{RT} = 0,2949$$

$$F_{RT} = 1 - 0,15 * 0,2949$$

$$F_{RT} = 0,956$$

- Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vuelta a la izquierda F_{LPB} , detallado en la ecuación 11.

Por no tener carril exclusivo $F_{Lpb} = 1$

- Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vuelta a la derecha F_{RPB} , detallado en la ecuación 10.

Por no tener carril exclusivo $F_{Rpb} = 1$

- Determinación de la tasa de flujo de saturación, detallada en la ecuación 22.

$$S_i = S_o * (N) * (F_w) * (F_{HV}) * (F_g) * (F_p) * (F_{bb}) * (F_a) * (F_{LU}) * (F_{LT}) * (F_{RT}) * (F_{Lpb}) * (F_{Prb}) \quad (22)$$

$$S_i = 1900 * 2 * 1 * 0,973 * 0,985 * 0,94 * 0,96 * 1 * 1 * 1,011 * 0,956 * 1 * 1$$

$$S_i = 3176,441$$

- Determinación de la capacidad y la relación volumen/capacidad:

- Capacidad del acceso C_i , detallada en la ecuación 23.

$$C_i = S_i * \left(\frac{G_i}{C}\right) \quad (23)$$

Donde:

$$S_i = 3176,441$$

$$G_i = 23$$

$$C = 53$$

$$C_i = 3176,441 * \left(\frac{23}{53}\right)$$

$$C_i = 1378,46$$

- Relación volumen a capacidad o grado de saturación, detallada en la ecuación 24.

$$X_i = \left(\frac{V_i}{C_i}\right) \quad (24)$$

Donde:

$$V_i = 1180$$

$$C_i = 1378,46$$

$$X_i = \left(\frac{1180}{1378,46} \right)$$

$$X_i = 0,856$$

- Determinación de las demoras:

- Factor de ajuste por coordinación, detallado en la ecuación 15.

Donde:

$$P = 0,579$$

$$\frac{g}{c} = 0,434$$

$$f_{pa} = 0,895$$

$$PF = \frac{(1 - 0,579) * 0,895}{1 - (0,434)}$$

$$PF = 0,666$$

- Demora uniforme, detallada en la ecuación 19.

Donde:

$$C = 53$$

$$\frac{g}{c} = 0,434$$

$$\min(1, x) = 0,856$$

$$d_1 = \frac{0,5 * 53 * (1 - 0,434)^2}{1 - (0,856 * (0,434))}$$

$$d_1 = 13,51$$

- Demora incremental, detallada en la ecuación 16.

Donde:

$$T = 0,25$$

$$K = 0,5$$

$$I = 1$$

$$X = 0,856$$

$$c = 1378,46$$

$$d_2 = 900 * 0,25 \left((0,856 - 1) + \sqrt{(0,856 - 1)^2 + \frac{8 * 0,5 * 1 * 0,856}{1378,46 * 0,25}} \right)$$

$$d_2 = 7,05$$

- Demora por cola inicial, detallada en la ecuación 25.

$$d_3 = \frac{1800 * Q_b * t}{c * T} \quad (25)$$

Donde:

$$T = 0,25$$

$$Q_b = 12$$

$$t = 0,060$$

$$c = 1378,46$$

$$d_3 = \frac{1800 * 12 * 0,060}{1378,46 * 0,25}$$

$$d_3 = 3,76$$

- Determinación de las demoras, detallada en la ecuación 14.

Donde:

$$P_f = 0,666$$

$$d = 13,51 * 0,666 + 7,05 + 3,76$$

$$d = 19,81$$

-Reconocimiento del nivel de servicio:

Se halló un nivel de servicio "B" para esta estación, detallado en la Tabla 26.

Tabla 26

Nivel de servicio de acuerdo a la demora por control

Nivel de servicio	Demora por control (seg/veh)
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55
E	>55-80
F	>80

4.2.3.2. Nivel de servicio estación 2

- Fases de semaforización

Contamos con solamente 1 fase, esta fase se encuentra en la avenida Av. Cusco con sentido este a oeste, detallado en la Figura 20.

Figura 20

Fase de Semaforización en la intersección de Av. Grau con Av. Cusco (N-S)

29	3	29

- Pendiente:

Se obtuvo una pendiente de 0% en esta estación, fue sacada de Google Earth, detallada en la Figura 21.

Figura 21

Pendiente de la estación 2 en la intersección de Av. Grau -Av. Cusco



Nota. Imagen de Google Earth

- Ancho de Carril (F_w), detallado en la ecuación 4.

Donde $w=4,4$

$$F_w = 1 + \frac{3 - 3,6}{9}$$

$$F_w = 0,933$$

- Vehículos pesados F_{HV} , detallado en la ecuación 5.

Donde:

$$\%HV = 0$$

$$ET = 2,4 \text{ autos/pesados}$$

$$F_{HV} = \frac{100}{100 + 0 * (2,4 - 1)}$$

$$F_{HV} = 1$$

- Factor de ajuste por pendiente de acceso F_g :

Donde:

$$\%G = 0$$

$$F_g = 1 - \frac{0}{200}$$

$$F_g = 1$$

Factor de ajuste por estacionamiento F_p :

Donde:

$$N = 1$$

$$Nm = 0$$

Como no hay estacionamiento $F_p = 1,00$

Factor de ajuste por bloqueo de buses F_{bb} , detallado en la ecuación 8.

Donde:

$$N = 1$$

$$Nb = 0$$

$$F_{bb} = \frac{2 - \frac{14,4 * 0}{3600}}{2}$$

$$F_{bb} = 1$$

Factor de ajuste tipo de área F_a :

En otras áreas $F_a = 1$

Factor de ajuste por utilización de carriles F_{LU} , detallado en la ecuación 9.

El grupo de carriles tiene un carril exclusivo o compartido, por lo tanto $F_{LU} = 1$

Factor de ajuste por vueltas a la izquierda F_{LT} , detallado en la ecuación 20.

Donde:

$$P_{LT} = 0$$

$$F_{LT} = \frac{1}{1 - 0,05(0)}$$

$$F_{LT} = 1$$

Factor de ajuste por vueltas a la derecha F_{RT} , detallado en la ecuación 21.

Donde:

$$P_{RT} = 0,4111$$

$$F_{RT} = 1 - 0,15 * 0,4111$$

$$F_{RT} = 0,938$$

Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vuelta a la izquierda F_{LPB} , detallado en la ecuación 11.

$$\text{Por no tener carril exclusivo } F_{LPB} = 1$$

Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vuelta a la derecha F_{RPB} , detallado en la ecuación 10.

$$\text{Por no tener carril exclusivo } F_{RPB} = 1$$

Determinación de la tasa de flujo de saturación, detallada ecuación 22.

$$S_i = 1900 * 1 * 0,933 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1,011 * 0,938 * 1 * 1$$

$$S_i = 1681,083$$

Determinación de la capacidad y la relación volumen/capacidad:

Capacidad del acceso C_i , detallada en la ecuación 23.

Donde:

$$S_i = 1681,083$$

$$G_i = 29$$

$$C = 61$$

$$C_i = 1681,083 * \left(\frac{29}{61}\right)$$

$$C_i = 799,20$$

Relación volumen a capacidad o grado de saturación, detallada en la ecuación 24.

Donde:

$$V_i = 720$$

$$C_i = 799,20$$

$$X_i = \left(\frac{720}{799,20}\right)$$

$$X_i = 0,90$$

Determinación de las demoras:

Factor de ajuste por coordinación, detallado en la ecuación 15.

Donde:

$$P = 0,634$$

$$\frac{g}{c} = 0,4754$$

$$f_{pa} = 0,767$$

$$PF = \frac{(1 - 0,634) * 0,767}{1 - (0,4754)}$$

$$PF = 0,535$$

Demora uniforme, detallada en la ecuación 19.

Donde:

$$C = 61$$

$$\frac{g}{c} = 0,4754$$

$$\min(1, x) = 0.90$$

$$d_1 = \frac{0.5 * 61 * (1 - 0,4754)^2}{1 - (0,74 * (0,4754))}$$

$$d_1 = 12,95$$

- Demora incremental, detallada en la ecuación 16.

Donde:

$$T = 0,25$$

$$K = 0,5$$

$$I = 1$$

$$X = 0,90$$

$$c = 799,20$$

$$d_2 = 900 * 0,25 \left((0,90 - 1) + \sqrt{(0,90 - 1)^2 + \frac{8 * 0,5 * 1 * 0,74}{1596,96 * 0,25}} \right)$$

$$d_2 = 3,12$$

Demora por cola inicial, detallada en la ecuación 25.

Donde:

$$T = 0,25$$

$$Q_b = 6$$

$$t = 0,0751$$

$$c = 799,20$$

$$d_3 = \frac{1800 * 12 * 0,0751}{799,20 * 0,25}$$

$$d_3 = 8,12$$

Determinación de las demoras, detallada en la ecuación 14.

Donde:

$$P_f = 0,535$$

$$d = 12,95 * 0,535 + 3,12 + 8,12$$

$$d = 18,17$$

- Reconocimiento del nivel de servicio:

Se halló un nivel de servicio "B" para esta estación, como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27

Nivel de servicio de acuerdo a la demora por control

Nivel de servicio	Demora por control (seg/veh)
A	<10
B	>10-20

C	>20-35
D	>35-55
E	>55-80
F	>80

4.2.3.3. Nivel de servicio estación 3

- Fases de semaforización

Contamos con solamente 1 fase, esta fase se encuentra en la Av. Grau con sentido norte a sur, detallada en la Figura 22.

Figura 22

Fase de Semaforización en la intersección de Av. Grau con Av. Cusco (S-N)

26	3	23

- Pendiente:

Se obtuvo una pendiente de 0% en esta estación, fue sacada de Google Earth, detallada en la Figura 23.

Figura 23

Pendiente de la estación 3 en la intersección de Av. Grau -Av. Cusco



Nota. Imagen de Google Earth

- Ancho de Carril (F_w), detallado en la ecuación 4.

Donde $w=3.2$

$$F_w = 1 + \frac{3,2 - 3,6}{9}$$

$$F_w = 1,044$$

- Vehículos pesados F_{HV} , detallado en la ecuación 5

Donde:

$$\%HV = 1$$

$$ET = 2,4 \text{ autos/pesados}$$

$$F_{HV} = \frac{100}{100 + 1 * (2,4 - 1)}$$

$$F_{HV} = 0,986$$

- Factor de ajuste por pendiente de acceso F_g , detallado en la ecuación 6.

Donde:

$$\%G = 0$$

$$F_g = 1 - \frac{0}{200}$$

$$F_g = 1$$

- Factor de ajuste por estacionamiento F_p , detallado en la ecuación 7.

Donde:

$$N = 3$$

$$Nm = 5$$

$$F_p = \frac{3 - 0,1 - \frac{18 * 5}{3600}}{3}$$

$$F_p = 0,958$$

- Factor de ajuste por bloqueo de buses F_{bb} , detallado en la ecuación 8.

Donde:

$$N = 3$$

$$Nb = 35$$

$$F_{bb} = \frac{2 - \frac{14,4 * 35}{3600}}{3}$$

$$F_{bb} = 0,62$$

- Factor de ajuste tipo de área F_a :

En otras áreas $F_a = 1$

- Factor de ajuste por utilización de carriles F_{LU} , detallado en la ecuación 9.

El grupo de carriles tiene un carril exclusivo o compartido, por lo tanto $F_{LU} = 1$

- Factor de ajuste por vueltas a la izquierda F_{LT} , detallado en la ecuación 20.

Donde:

$$P_{LT} = 0,2083$$

$$F_{LT} = \frac{1}{1 - 0,05(0,2083)}$$

$$F_{LT} = 1,011$$

- Factor de ajuste por vueltas a la derecha F_{RT} , detallado en la ecuación 21.

Donde:

$$P_{RT} = 0,375$$

$$F_{RT} = 1 - 0,15 * 0,375$$

$$F_{RT} = 0,944$$

- Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vuelta a la izquierda F_{LPB} , detallado en la ecuación 11.

Por no tener carril exclusivo $F_{Lpb} = 1$

- Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vuelta a la derecha F_{RPB} , detallado en la ecuación 10.

Por no tener carril exclusivo $F_{Rpb} = 1$

- Determinación de la tasa de flujo de saturación, detallada en la ecuación 22.

$$S_i = 1900 * 3 * 1,044 * 0,986 * 1 * 0,958 * 0,62 * 1 * 1 * 1,011 * \\ 0,944 * 1 * 1 \\ S_i = 3326,079$$

- Determinación de la capacidad y la relación volumen/capacidad:

- Capacidad del acceso C_i , detallada en la ecuación 23.

Donde:

$$S_i = 3326,079$$

$$G_i = 26$$

$$C = 52$$

$$C_i = 3326,079 * \left(\frac{26}{52}\right)$$

$$C_i = 1663,04$$

- Relación volumen a capacidad o grado de saturación, detallada en la ecuación 24.

Donde:

$$V_i = 1344$$

$$C_i = 1663,04$$

$$X_i = \left(\frac{1344}{1663,04} \right)$$

$$X_i = 0,81$$

- Determinación de las demoras:

- Factor de ajuste por coordinación, detallado en la ecuación 15.

Donde:

$$P = 0,666$$

$$\frac{g}{c} = 0,5$$

$$f_{pa} = 0,767$$

$$PF = \frac{(1 - 0,666) * 0,767}{1 - (0,5)}$$

$$PF = 0,5124$$

- Demora uniforme, detallada en la ecuación 19.

Donde:

$$C = 52$$

$$\frac{g}{c} = 0,5$$

$$\min(1, x) = 0,81$$

$$d_1 = \frac{0,5 * 52 * (1 - 0,5)^2}{1 - (0,81 * (0,5))}$$

$$d_1 = 10,924$$

- Demora incremental, detallada en la ecuación 16.

Donde:

$$T = 0,25$$

$$K = 0,5$$

$$I = 1$$

$$X = 0,81$$

$$c = 1663,04$$

$$d_2 = 900 * 0,25 \left((0,81 - 1) + \sqrt{(0,81 - 1)^2 + \frac{8 * 0,5 * 1 * 0,81}{1663,04 * 0,25}} \right)$$

$$d_2 = 4,389$$

- Demora por cola inicial, detallada en la ecuación 25.

Donde:

$$T = 0,25$$

$$Q_b = 15$$

$$t = 0,0475$$

$$c = 1663,04$$

$$d_3 = \frac{1800 * 15 * 0,0475}{1663,04 * 0,25}$$

$$d_3 = 3,085$$

- Determinación de las demoras, detallado en la ecuación 14.

Donde:

$$P_f = 0,5124$$

$$d = 10,924 * 0,5124 + 4,389 + 3,085$$

$$d = 13,071$$

- Reconocimiento del nivel de servicio:

Se halló un nivel de servicio "B" para esta estación, detallado en la Tabla 28.

Tabla 28

Nivel de servicio de acuerdo a la demora por control

Nivel de servicio	Demora por control (seg/veh)
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55
E	>55-80
F	>80

4.2.3.4. Nivel de servicio estación 4

- Fases de semaforización

Contamos con solamente 1 fase, esta fase se encuentra en la Av. Grau con sentido norte a sur, detallado en la Figura 24.

Figura 24

Fase de Semaforización en la intersección de Av. Grau con Av. Cusco (SE-NE)

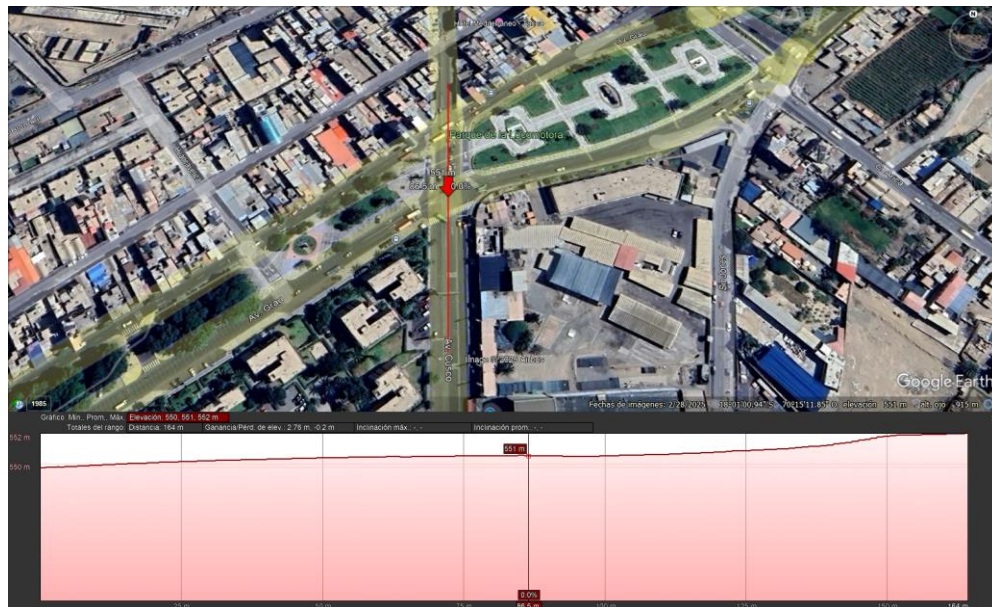
20	3	29

- Pendiente:

Se obtuvo una pendiente de 0% en esta estación, fue sacada de Google Earth, detallado en la Figura 25.

Figura 25

Pendiente de la estación 4 en la intersección de Av. Grau -Av. Cusco



Nota. Imagen de Google Earth

- Ancho de Carril (Fw), detallado en la ecuación 4.

Donde $w=2,7$

$$F_w = 1 + \frac{2,7 - 3,6}{9}$$

$$F_w = 0,9$$

- Vehículos pesados F_{HV} , detallado en la ecuación 5.

$$F_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV * (E_T - 1)}$$

Donde:

$$\%HV = 0$$

$$E_T = 2,4 \text{ autos/pesados}$$

$$F_{HV} = \frac{100}{100 + 0 * (2,4 - 1)}$$

$$F_{HV} = 1$$

- Factor de ajuste por pendiente de acceso F_g , detallado en la ecuación 6.

Donde:

$$\%G = 0$$

$$F_g = 1 - \frac{0}{200}$$

$$F_g = 1$$

- Factor de ajuste por estacionamiento F_p , detallado en la ecuación 7

Donde:

$$N = 2$$

$$Nm = 0$$

Como no hay estacionamiento $F_p = 1,00$

- Factor de ajuste por bloqueo de buses F_{bb} , detallado en la ecuación 8

Donde:

$$N = 2$$

$$Nb = 0$$

$$F_{bb} = \frac{2 - \frac{14,4 * 0}{3600}}{2}$$

$$F_{bb} = 1$$

- Factor de ajuste tipo de área F_a :

En otras áreas $F_a = 1$

- Factor de ajuste por utilización de carriles F_{LU} , detallado en la ecuación 9.

El grupo de carriles tiene un carril exclusivo o compartido, por lo tanto $F_{LU} = 1$

- Factor de ajuste por vueltas a la izquierda F_{LT} , detallado en la ecuación 20.

Donde:

$$P_{LT} = 0$$

$$F_{LT} = \frac{1}{1 - 0,05(0)}$$

$$F_{LT} = 1$$

- Factor de ajuste por vueltas a la derecha F_{RT} , detallado en la ecuación 21.

Donde:

$$P_{RT} = 0,2959$$

$$F_{RT} = 1 - 0,15 * 0,2959$$

$$F_{RT} = 0,956$$

- Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vuelta a la izquierda F_{LPB} , detallado en la ecuación 11.

Por no tener carril exclusivo $F_{Lpb} = 1$

- Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vuelta a la derecha F_{RPB} , detallado en la ecuación 10.

Por no tener carril exclusivo $F_{Rpb} = 1$

- Determinación de la tasa de flujo de saturación, detallado en la ecuación 22.

$$S_i = 1900 * 3 * 0.9 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 0,956 * 1 * 1$$

$$S_i = 4904,28$$

- Determinación de la capacidad y la relación volumen/capacidad:

- Capacidad del acceso C_i , detallado en la ecuación 23

Donde:

$$S_i = 4904,28$$

$$G_i = 20$$

$$C = 52$$

$$C_i = 4,904,28 * \left(\frac{20}{52}\right)$$

$$C_i = 1886,26$$

- Relación volumen a capacidad o grado de saturación, detallado en la ecuación 24.

Donde:

$$V_i = 1744$$

$$C_i = 1886,26$$

$$X_i = \left(\frac{1744}{1886,26}\right)$$

$$X_i = 0,92$$

- Determinación de las demoras:

- Factor de ajuste por coordinación, detallado en la ecuación 15.

Donde:

$$P = 0,513$$

$$\frac{g}{c} = 0,385$$

$$f_{pa} = 0,895$$

$$PF = \frac{(1 - 0,513) * 0,895}{1 - (0,385)}$$

$$PF = 0,7087$$

- Demora uniforme, detallado en la ecuación 19.

Donde:

$$C = 52$$

$$\frac{g}{c} = 0,385$$

$$\min(1, x) = 0,92$$

$$d_1 = \frac{0,5 * 52 * (1 - 0,385)^2}{1 - (0,92 * (0,385))}$$

$$d_1 = 15,227$$

- Demora incremental, detallado en la ecuación 16.

Donde:

$$T = 0,25$$

$$K = 0,5$$

$$I = 1$$

$$X = 0,92$$

$$c = 1886,26$$

$$d_2 = 900 * 0,25 \left((0,92 - 1) + \sqrt{(0,92 - 1)^2 + \frac{8 * 0,5 * 1 * 0,92}{1886,26 * 0,25}} \right)$$

$$d_2 = 8,815$$

- Demora por cola inicial, detallado en la ecuación 25.

Donde:

$$T = 0,25$$

$$Q_b = 16$$

$$t = 0,106$$

$$c = 1886,26$$

$$d_3 = \frac{1800 * 16 * 0,106}{1886,26 * 0,25}$$

$$d_3 = 6,474$$

- Determinación de las demoras, detallado en la ecuación 14.

Donde:

$$P_f = 0,7087$$

$$d = 15,227 * 0,7087 + 8,815 + 6,474$$

$$d = 26,080$$

- Reconocimiento del nivel de servicio:

Se halló un nivel de servicio "C" para esta estación, detallado en la Tabla 29.

Tabla 29

Nivel de servicio de acuerdo a la demora por control

Nivel de servicio	Demora por control (seg/veh)
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55
E	>55-80
F	>80

4.3. Estudio topográfico

Se llevó a cabo un estudio topográfico, el cual resultó fundamental para el desarrollo de la investigación, ya que permitió visualizar y caracterizar geométricamente la zona de estudio.

4.3.1. Personal de trabajo

El estudio contó con la participación de personas directamente involucradas en el proceso, tanto en campo como en gabinete:

- Asistentes de campo.
- Asistentes de gabinete.

4.3.2. Instrumentos

Se emplearon instrumentos básicos de topografía, adecuados para garantizar un levantamiento con una precisión ± 0.50 metros en la zona de estudio. Los instrumentos que se utilizaron fueron wincha de 10 metros, wincha de 50 metros, wincha láser y equipo GPS.

4.3.3. Descripción del área

De acuerdo con el levantamiento topográfico realizado, la zona de estudio abarca un área de 4,264.7 m², correspondiente a la intersección de dos avenidas: la Avenida Cusco (con circulación de oeste a este y de este a oeste) y la Avenida Grau (con circulación de norte a sur y de sur a norte).

4.3.4. Localización

Ubicación	:	Intersección de las avenidas Cusco y Grau.
Departamento	:	Tacna
Provincia	:	Tacna
Distrito	:	Tacna
Localidad	:	Tacna

4.3.5. Acceso

El acceso a la zona de estudio se puede realizar a través de cualquiera de las avenidas mencionadas anteriormente. En cuanto a las condiciones de las vías, todas se encuentran asfaltadas, aunque en ciertos tramos se observa deterioro del pavimento, atribuible a diversos factores de uso y desgaste.

4.3.6. Clima

En la ciudad de Tacna, distrito de Tacna, durante los meses de mayo a noviembre, periodo en el que se llevó a cabo la investigación, las temperaturas promedio oscilan entre 12 °C y 22 °C. En términos generales, la ciudad presenta un clima templado y seco, con precipitaciones limitadas, vientos moderados y cielos mayormente despejados durante la mayor parte del año.

4.3.7. Altitud de la zona

La altitud de la zona de estudio se sitúa entre 550 y 552 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

4.3.8. Características de las vías

Tal como se observa en la Tabla 30, se presentan los resultados correspondientes al análisis realizado para la evaluación de las condiciones de tránsito en la intersección estudiada. Asimismo, en la Figura 26 se presenta el plano topográfico de la intersección estudiada, cuyo desarrollo y contenido detallado pueden apreciarse en el Anexo 2.

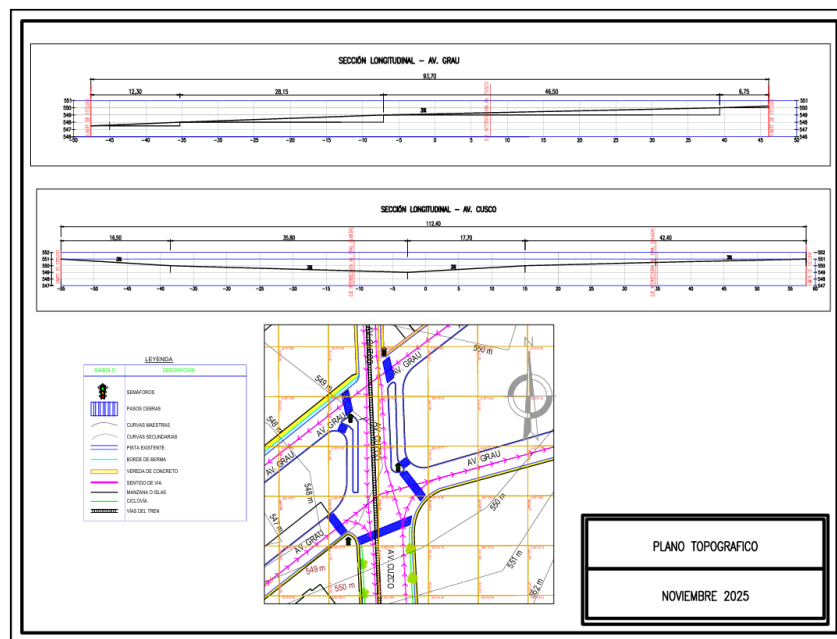
Tabla 30

Características de las vías

Vía urbana	Tipo de vía	Ancho de vía (m)	Sentido	Número de carriles
Av. Grau (NE-SE)	Colectora	9.00	Simple	2
Av. Cusco (N-S)	Colectora	11.50	Doble	1
Av. Grau (S-N)	Colectora	11.40	Simple	2
Av. Cusco (SE-NE)	Colectora	27.70	Doble	4

Figura 26

Plano topográfico



4.4. Diseño geométrico

Luego de un análisis detallado de la zona de estudio, se plantearon dos propuestas de mejora, ambas cumpliendo con los parámetros de diseño establecidos, con el objetivo de optimizar la transitabilidad vehicular en el área analizada.

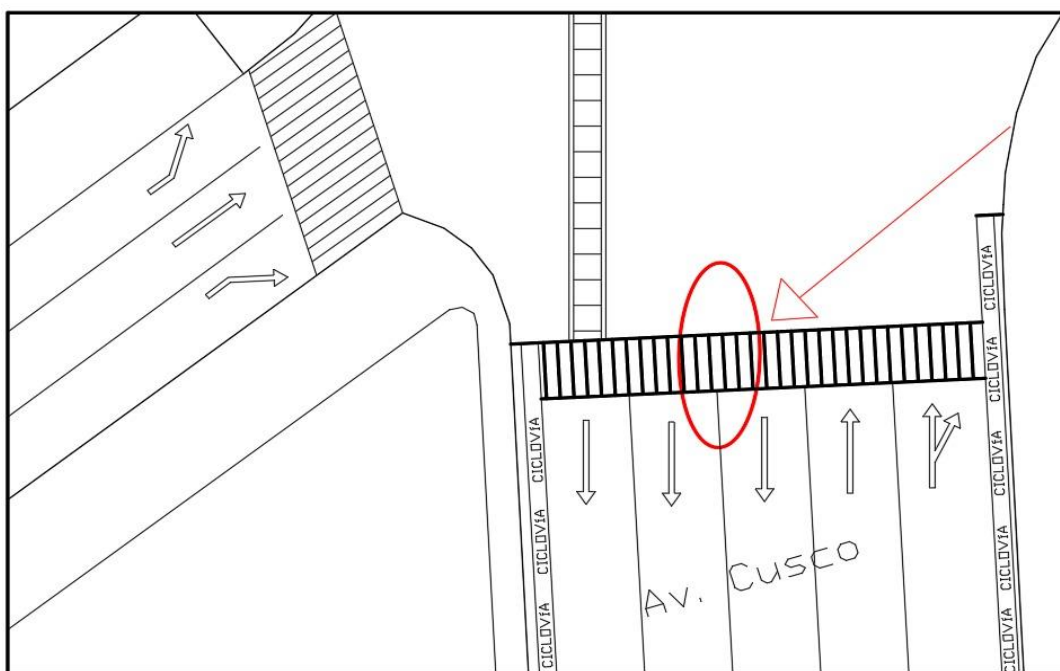
4.4.1. Propuesta 1:

Realizamos una reubicación de los cruces peatonales en la vía de acceso a la intersección con el fin de optimizar la operación vehicular y mejorar la seguridad tanto para peatones como para conductores, se propone reubicar las líneas peatonales unos metros antes del punto de conflicto, es decir, a una mayor distancia del área central de la intersección. Esta modificación permite ampliar el espacio de almacenamiento de vehículos en la zona de espera, desplazando hacia atrás el límite máximo de detención.

De esta manera, los vehículos que circulan por la vía transversal disponen de mayor tiempo y espacio para completar sus maniobras de cruce, evitando la superposición de trayectorias y reduciendo el riesgo de congestión dentro del área de intersección. Por lo cual se tuvo el diseño de la Figura 27.

Figura 27

Diseño de propuesta N°01



4.4.2. Propuesta 2

Realizamos una implementación de separadores canalizadores en la zona de transición entre sentidos de circulación en el tramo de estudio, conformado por una vía de cinco carriles, se identificó que los dos carriles ubicados en el extremo derecho corresponden al sentido norte, mientras que los tres restantes operan en sentido contrario. En el punto donde se inicia la división entre ambos sentidos de circulación, es decir, en la zona de transición próxima a la intersección se observó un comportamiento recurrente de invasión del carril adyacente, generado por la falta de delimitación física entre flujos opuestos.

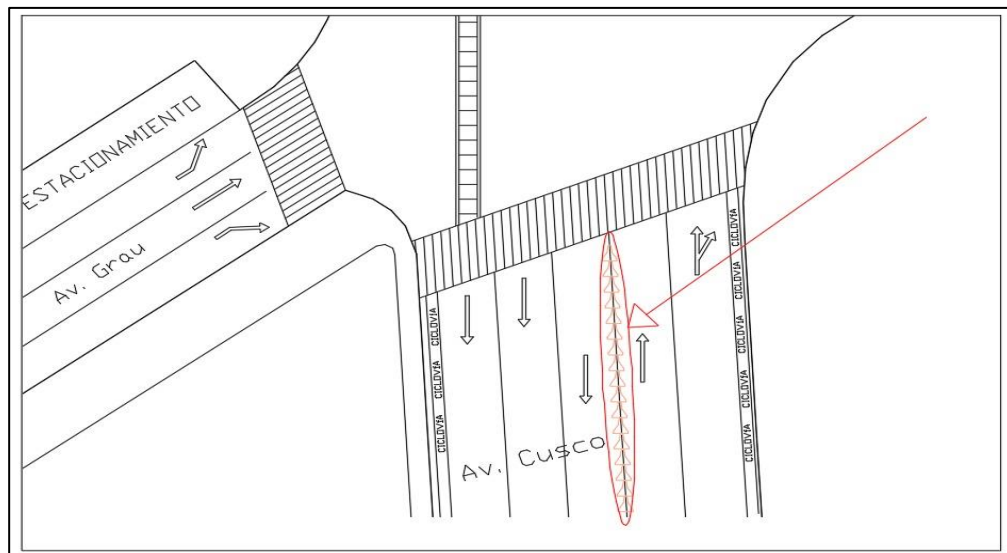
Esta situación se ve agravada por una particularidad geométrica del corredor: el carril central proveniente del norte, al cruzar la intersección, alinea su eje con el carril que se dirige hacia el norte, lo que induce a los conductores que circulan por el carril

derecho (en sentido norte) a invadir el carril central en búsqueda de una trayectoria continua. Dicha maniobra irregular produce conflictos entre movimientos opuestos, reduciendo la seguridad operacional y la capacidad efectiva de la intersección.

Con el fin de corregir esta situación, se propone la instalación de separadores canalizadores de color amarillo anclados a la calzada, ubicados en el punto donde se inicia la divergencia de sentidos. Estos dispositivos cumplirán la función de delimitar físicamente los carriles y canalizar el flujo vehicular, impidiendo el cruce indebido entre sentidos opuestos. Por lo cual se tuvo el diseño de la Figura 28.

Figura 28

Diseño de propuesta N°02



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que la propuesta vial aplicada a la intersección formada por la avenida Cusco y la avenida Grau generó efectos distintos según cada punto analizado. Mientras la primera intersección (estaciones 1 y 2) no presentó cambios operativos significativos tras la aplicación de las medidas propuestas, la segunda intersección (estaciones 3 y 4) mostró mejoras claras en indicadores como el grado de saturación y la demora total. Estas diferencias se explican por las características geométricas propias de cada zona, la magnitud de los volúmenes vehiculares y la capacidad de respuesta que cada intersección posee ante intervenciones de naturaleza operativa.

La primera medida implementada fue la reubicación de cruces peatonales, cuyo objetivo fue disminuir los conflictos entre peatones y vehículos y aumentar el espacio de almacenamiento vehicular. Al adelantar las líneas de cruce unos metros respecto del punto de conflicto, se redujo la interferencia directa con los flujos vehiculares y se ordenó la operación de la intersección. Este comportamiento coincide con lo reportado por Quiñones (2024), quien señala que la correcta disposición de elementos de cruce contribuye a reducir puntos de fricción. Sin embargo, a diferencia de su estudio centrado en deficiencias de señalización vertical y horizontal en la intersección analizada la problemática se explicaba principalmente por la proximidad entre el cruce peatonal y el área de espera vehicular. Esto justifica por qué, aun con señalización existente, el reordenamiento espacial generó mejoras perceptibles en la interacción vehículo–peatón.

La segunda intervención consistió en la instalación de separadores canalizadores, implementados para ordenar físicamente los flujos y evitar maniobras indebidas. Previamente se observó invasión de carriles opuestos y giros fuera de trayectoria, lo que aumentaba el riesgo de colisiones y reducía la capacidad operacional. Tras colocar los separadores, se regularizaron las trayectorias y se redujeron los conflictos entre sentidos, lo cual es consistente con lo descrito por Rivera y Yovera (2020), quienes identifican la falta de elementos de canalización como causa del desorden vehicular. No obstante, a diferencia de su caso donde existía además un déficit considerable de señalización en esta intersección la raíz del problema era fundamentalmente geométrica. Esta diferencia explica por qué una intervención física de bajo costo generó un impacto inmediato en la organización del tránsito.

La tercera propuesta fue la optimización semafórica, aplicada específicamente a la intersección conformada por las estaciones 3 y 4. El grado de saturación se redujo de 1,70 a 1,25, y la demora total promedio disminuyó de 155,5 a 103,2 s/veh, aunque el nivel de servicio permaneció constante. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Ramos y Vílchez (2023), quienes demostraron que la optimización semafórica redistribuye el tiempo de verde hacia las fases más cargadas, reduciendo las demoras. Sin embargo, la ausencia de mejora en el nivel de servicio revela una diferencia importante: la intersección estudiada opera muy cerca de su capacidad geométrica, por lo que, aunque la optimización mejora el flujo, no modifica las condiciones estructurales que determinan la clasificación del nivel de servicio. En contraste, las intersecciones analizadas por Ramos y Vílchez tenían mayor capacidad y espacio para reorganizar carriles. Esto explica por qué la optimización aquí fue efectiva, pero con un margen de impacto más limitado.

En relación con los objetivos específicos, los resultados obtenidos respaldan su cumplimiento. El estudio de tráfico permitió identificar los puntos críticos de saturación; el levantamiento topográfico fue la base para definir técnicamente cada intervención; el diseño geométrico facilitó adaptar la intersección a las condiciones reales del flujo. En conjunto, se confirma que la propuesta vial ejerció una influencia positiva en la transitabilidad vehicular, cumpliendo satisfactoriamente con el objetivo general.

Al contrastar los resultados con estudios previos, se observa que investigaciones como las de Ortiz y Véliz (2018) y Cachicatari (2021) proponen intervenciones de mayor envergadura como ampliación de carriles o pasos a desnivel para mejorar la transitabilidad. En comparación, la presente investigación muestra que intervenciones geométricas y operativas de bajo costo pueden generar mejoras significativas, siempre que existan las condiciones geométricas mínimas para su implementación. No obstante, la ausencia de mejoras en la primera intersección evidencia que este tipo de medidas no es universalmente efectivo; en ciertos casos, se requerirán alternativas de mayor escala para lograr impactos sustanciales.

En síntesis, la propuesta vial desarrollada demuestra que la combinación de medidas físicas (canalización) y operativas (gestión semafórica) puede mejorar de manera significativa la transitabilidad en intersecciones urbanas de alta demanda. Los resultados obtenidos aportan una base metodológica útil para futuras intervenciones en intersecciones similares en la ciudad de Tacna, contribuyendo a una planificación vial más eficiente, segura y sostenible.

CONCLUSIONES

Se determinó la influencia del estudio de tráfico, el cual se ejecutó durante un periodo continuo de siete días (Lunes a domingo) y en franjas horarias estratégicas de 7:00 a 9:00 a.m., 12:00 a 2:00 p.m. y 6:00 a 8:00 p.m., lo que permitió cuantificar un total de 168,341 vehículos que circularon por la intersección de la avenida Cusco con la avenida Grau, lo que evidenció una marcada concentración del flujo vehicular en los días lunes, martes y miércoles, siendo así la hora punta de mayor demanda de 8:00 a 9:00 a.m.

Se determinó la influencia del levantamiento topográfico, el cual resultó indispensable para obtener información detallada sobre la configuración física del terreno en el área de estudio. Todo esto permitió definir con precisión la geometría de la intersección, las pendientes existentes, las dimensiones de las vías y los elementos complementarios del entorno urbano, lo cual sirvió como base técnica para el diseño de alternativas viales, garantizando que las propuestas se ajusten fielmente a las condiciones reales del sitio.

Se determinó la influencia del diseño geométrico, el cual sirvió como base para desarrollar tres propuestas viales orientadas a mejorar la eficiencia de la intersección, de acuerdo a los criterios de diseño geométrico y de tránsito establecidos en las normas peruanas.

Se determinó la influencia de la propuesta vial indicada, la cual optimizó en la intersección de la avenida Cusco con la avenida Grau de manera efectiva la transitabilidad vehicular. Se reflejó una mejora sustancial en los tiempos de recorrido, un incremento en la capacidad operativa de la intersección y una reducción considerable de los puntos de conflicto. Además, se logró evidenciar un aumento en el nivel de servicio, lo cual contribuye a un tránsito más fluido, seguro y ordenado, beneficiando tanto a conductores como a peatones.

RECOMENDACIONES

Con el fin de mejorar la organización del tránsito y la seguridad vial, se recomienda a la Gerencia de Transporte y Seguridad Ciudadana de la Municipalidad Provincial de Tacna efectuar el mantenimiento y repintado de las señales horizontales, las cuales presentan un marcado deterioro. Esto contribuirá a una mejor visibilidad y a la correcta ubicación de los vehículos en sus respectivos carriles.

Considerando que una parte significativa de los conductores y peatones muestra un conocimiento limitado de las normas de tránsito, se sugiere que la Municipalidad Provincial de Tacna fortalezca sus programas de educación y cultura vial, con campañas orientadas al respeto de las señales y límites de velocidad dentro del ámbito urbano.

Se recomienda que las propuestas planteadas en el presente estudio sean consideradas por las entidades estatales competentes para su posible ejecución en proyectos futuros de mejoramiento vial, contribuyendo a la reducción de la congestión y al ordenamiento del tránsito en la ciudad de Tacna.

Se da sugerencia a futuros tesisistas o investigadores que realicen estudios similares incluir una proyección del crecimiento del parque automotor en la ciudad, dado que el incremento constante de vehículos podría alterar las condiciones operativas actuales y modificar el comportamiento del flujo vehicular en la intersección analizada.

Con el propósito de mejorar la seguridad de los peatones, se recomienda que los futuros proyectos de rediseño vial incorporen soluciones específicas para la transitabilidad peatonal, tales como ampliación de veredas, islas de seguridad y tiempos semafóricos exclusivos para el cruce peatonal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaru, I., y Laguna, J. (2022). Determinación del nivel de servicio para mejorar el flujo vehicular en la intersección de la avenida Tarapacá con avenida Guillermo Billinghurst y calle san Hilarión, Tacna, 2022. [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio UPT <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2395>
- Board, T. R. (2000). *Highway Capacity Manual*. HCM
- Cachicatari, R. (2021). *Propuesta de optimización del tránsito para mejora del nivel de servicio en la intersección semaforizada av. Coronel Mendoza con calle Basadre y Forero, Tacna 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio UPT <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2015>
- Consortio Global. (2015). *Proyecto especial de infraestructura de transporte nacional*. Lima: Ministerio De Transportes Y Comunicaciones
- Cortes, M. (2016). *Fundamentos de estudios de impacto vial*. Instituto Municipal De Investigación
- Cueva, J. (2012). *Síntesis de intersecciones, señalización y semáforos. Análisis de medidas para reducir la congestión*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/776>
- Das Neves, G., Rivera, J., y Villanueva, M. (2010). Vial. Obtenido de <http://revistavial.com/soluciones-viales-urbanas-26101/>
- Diaz Romero, M. F., y Valbuena Navarro, L. (2021). *Análisis del tránsito vehicular en las intersecciones Postobón, Séptima Brigada y La Grama proyectado a 5, 10 y 15 años en la ciudad de Villavicencio*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás] Repositorio Universidad Santo Tomás <http://hdl.handle.net/11634/42548>
- Diaz Vargas, L. F. (2009). *Análisis vial de dos intersecciones sin semaforo en zona aledaña a nuevo Terrapuerto de Piura*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura] Repositorio Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/1349>
- Han, L., Du, Z., Wang, S., y Chen, Y. (2022). Analysis of Traffic Signs Information Volume Affecting Driver's Visual Characteristics and Driving Safety. *International*

Journal of Environmental Research and Public Health, 19(16), 10349.
<https://doi.org/10.3390/ijerph191610349>

HCM. (2010). *Manual de Capacidad de Carreteras*. Estados Unidos

Henríquez, J. (2019). *Propuesta de mejora vial en la intersección de las avenidas Miguel Grau y Gulman en la ciudad de Piura, Piura*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego] Repositorio Universidad Privada Antenor Orrego
<https://hdl.handle.net/20.500.12759/4691>

Lizarbe, H., y Chambillo, J. (2016). *Metodologías para la evaluación de la seguridad vial de intersecciones urbanas en la ciudad de Ayacucho*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga] Repositorio Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1988>

Machaca, A. R. (2016). *Análisis y diseño de un Sistema de Control de Tráfico Vehicular Utilizando Semaforos Inteligentes con Tecnología Arduino*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano] Repositorio de Universidad Nacional del Altiplano
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/1767>

Méndez, J., y Wang, M. (2019). *Estudio y propuesta de mejoramiento de la transitabilidad vehicular y peatonal de la avenida Los Incas en la ciudad de Trujillo - La Libertad*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego] Repositorio de Universidad Privada Antenor Orrego
<https://hdl.handle.net/20.500.12759/4635>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*. Lima, Perú

Ortiz, E., y Veliz, A. (2018). *Optimización del flujo vehicular en la intersección vial de la Av. Gustavo Pinto con la Av. Industrial de la ciudad de Tacna - Tacna*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio UPT
<http://hdl.handle.net/20.500.12969/542>

Osores, V. (2015). *Evaluación del nivel de servicio por análisis de tráfico en la intersección semaforizada Mariscal Castilla – Julio Sumar El Tambo, 2015*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de Universidad Nacional del Centro del Perú
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/1182>

Pereda, C. P., y Montoya Salas, M. A. (2018). *Estudio y optimización de la red vial avenida América Sur tramo prolongación Cesar Vallejo - avenida Ricardo Palma,*

- Trujillo. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego] Repositorio Universidad Privada Antenor Orrego <https://hdl.handle.net/20.500.12759/4178>
- Perez, D., y Sanabria, G. (2019). *Mejoramiento de la infraestructura vial para optimizar la transitabilidad en la intersección de las avenidas Fernando Belaúnde Terry y José Eufemio Lora y Lora, en la ciudad de Chiclayo - Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad San Martín de Porres]. Repositorio de Universidad San Martín de Porres <https://hdl.handle.net/20.500.12727/5333>
- PTV Planung Transport Verkehr GmbH. (2025). PTV Vissim: Simulación de tráfico multimodal. <https://www.ptvgroup.com/es/soluciones/productos/ptv-vissim-nuevo/>
- Quiñones, M. (2024). *Señalización vial con fines de mejorar el tránsito vehicular en el distrito de Independencia. Ancash*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio de Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5997>
- Ramos, D., y Vilchez, C. (2023). *Optimización del flujo de tráfico vehicular mediante simulaciones de semáforos inteligentes, Piura – 2023*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo] Repositorio de Universidad César Vallejo <https://hdl.handle.net/20.500.12692/156681>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Reyna, P. (2015). *Propuesta de mejora de niveles de servicio de dos intersecciones. Lima* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de UPC <http://hdl.handle.net/10757/581516>
- Ríos, E. (2018). *Modelación del tránsito y propuesta de solución vial a la Av. Cáceres con Infracore y Synchro 8*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura] Repositorio Universidad de Piura <https://hdl.handle.net/11042/3513>
- Rivera, D., y Yovera, J. (2020). *Evaluación vial para mejorar la transitabilidad peatonal y vehicular en la intersección de la avenida Sánchez Cerro y avenida Mártires Ucchuracay – Piura. 2020* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo] Repositorio de Universidad César Vallejo <https://hdl.handle.net/20.500.12692/66733>
- Ruiz de Somocurcio Salas, A. E. (2008). *Control de Tráfico Vehicular Automatizado Utilizando Lógica Difusa*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma] Repositorio de Universidad Ricardo Palma. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/85>

- Ruíz Garrido, L. (2015). *Análisis del tráfico y la seguridad vial de la carretera N-332 a su paso por el término municipal de Favara (Valencia)* [Tesis de pregrado, Universidad Politecnica de Valencia] Repositorio de Universidad Politecnica de Valencia <https://riunet.upv.es/handle/10251/70707>
- Sarango, P., y Díaz, B. (2020). Sistema web y móvil híbrido para la recolección muestral de datos sobre flujo vehicular en la zona de regeneración urbana de la ciudad de Loja, Ecuador. *Espacios*. 41(8), 4
<http://www.revistaespacios.com/a20v41n08/20410804.html#:~:text=1.2,-.Flujo%20vehicular,v%C3%ADa%20por%20unidad%20de%20tiempo>.
- Seguridad vial. (2025, 19 octubre). En Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Seguridad_vial
- Shaima, E. (2022). *The Design Journal*. Estados Unidos: Taylor y Francis.
- Thomson, I., y Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales*. Santiago de Chile: CEPAL
- Urbina, C., y Torres, A. (2018). *Optimización del Flujo Vehicular en la Intersección Vial de la Av. Bolognesi y la Av. Gustavo Pinto en la Ciudad de Tacna. Tacna - Perú*: [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio UPT <http://hdl.handle.net/20.500.12969/543>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
Problema general ¿De qué manera influye la propuesta vial en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025?	Objetivo general Determinar la influencia de la propuesta vial en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025.	Hipótesis general La propuesta vial mejora la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025.	Variable independiente - Propuesta vial	Dimensiones - Diseño geométrico. - Señalización y semaforización. - Gestión del tránsito. - Seguridad vial. - Accesibilidad	Indicadores - Radio de giro adecuado. - Número de carriles. - Ancho de calzada. - Existencia de señales verticales y horizontales. - Semáforos operativos. - Propuesta de sentido vial. - Redistribución de flujos vehiculares - Reducción proyectada de puntos de conflicto. - Incorporación de zonas seguras peatonales.	Metodología Tipo de investigación: Aplicada. Nivel de investigación: Descriptivo. Diseño de investigación: No experimental - propositivo.

					<ul style="list-style-type: none"> - Mejora en los accesos a la intersección. - Integración con otras vías. 	
<p>Problemas específicos</p> <p>a) ¿De qué manera influye un estudio de tráfico en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departament</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>a) Determinar la influencia del estudio de tráfico en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departament</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>a) El estudio de tráfico contribuye en la solución al problema de la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia</p>	<p>Variable dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transitabilidad vehicular 	<ul style="list-style-type: none"> - Flujo vehicular. - Capacidad vial. - Tiempos de desplazamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Volumen vehicular por hora (veh/h). - Frecuencia de congestión. - Nivel de servicio. - Saturación de la vía. - Tiempo promedio de cruce/intersección (segundos). 	<p>Población:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Av. Cusco (Desde Av. 2 de Mayo hasta Ovalo Cusco) y av. Grau (Desde Av. Bolognesi hasta Ovalo Callao). <p>Muestra:</p>

<p>o de Tacna, 2025?</p> <p>b) ¿De qué manera influye el estudio topográfico en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025?</p> <p>c) ¿De qué manera influye el diseño geométrico en la transitabilidad vehicular en la intersección</p>	<p>o de Tacna, 2025.</p> <p>b) Determinar la influencia del estudio de topográfico en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025.</p> <p>c) Determinar la influencia del diseño geométrico en la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av.</p>	<p>de Tacna, departamento de Tacna, 2025.</p> <p>b) El estudio de topográfico contribuye en la solución al problema de la transitabilidad vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departamento de Tacna, 2025.</p> <p>c) El diseño geométrico contribuye en la solución al problema de la transitabilidad</p>		<p>- Seguridad vial.</p>	<p>- Tiempo de espera promedio.</p> <p>- Número de conflictos o incidentes viales observados.</p> <p>- Presencia de señalización visible.</p>	<p>- Intersección formada por la av. Cusco y la av. Grau.</p> <p>Técnicas de recolección de datos:</p> <p>- Observación directa.</p> <p>- Medición técnica (aforo).</p> <p>Instrumentos</p> <p>:</p> <p>- Ficha de observación estructurada / Lista.</p> <p>- Ficha de aforo vehicular.</p> <p>- Cronómetro o aplicación móvil para medir tiempos.</p>
---	--	--	--	--------------------------	---	--

<p>de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departament o de Tacna, 2025?</p>	<p>Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departament o de Tacna, 2025.</p>	<p>d vehicular en la intersección de la Av. Cusco con la Av. Grau en la provincia de Tacna, departament o de Tacna, 2025.</p>				<p>- Cámara de video (para validar conteos).</p>
--	--	---	--	--	--	--

Anexo 2. Plano topográfico

