



EDITORIAL
NAVEGANTE



SERVICIO EN FLUJOS VEHICULARES DE LAS **INTERSECCIONES VIALES URBANAS** UTILIZANDO SYNCHRO

Martín Paucara Rojas



Martín Paucara Rojas

Correo: mpaucarar@unjbg.edu.pe

Perfil: Ingeniero Civil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5169-102X>

Afiliación: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

SERVICIO EN FLUJOS VEHICULARES DE LAS INTERSECCIONES VIALES URBANAS UTILIZANDO SYNCHRO

Martín Paucara Rojas



EDITORIAL
NAVEGANTE

Todas nuestras publicaciones son sometidas a revisión doble-ciego de pares externos (*Peer Review Double Blinded*).

Esta publicación cuenta con licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial - SinObraDerivada 3.0 Unported License.



ISBN: 978-628-7736-19-1

© Martín Paucara Rojas

2024

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13992821>

©Editorial Navegante

www.editorialnavegante.com

Este libro ha sido derivado de la investigación científica “*Evaluación del nivel de servicio en flujos vehiculares de las intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann, Utilizando SYNCHRO V.8 – Tacna, 2018*”, presentada por Martín Paucara Rojas en la Universidad Privada de Tacna.

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos.

Diseño de carátula y composición: Editorial Navegante

Edición electrónica: Editorial Navegante

Editado en Colombia/ *Published in Colombia*

SERVICIO EN FLUJOS VEHICULARES DE LAS INTERSECCIONES VIALES URBANAS UTILIZANDO SYNCHRO

Martín Paucara Rojas



EDITORIAL
NAVEGANTE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	9
-------------------	---

CAPÍTULO I

LAS INTERSECCIONES VIALES Y LOS NIVELES DE SERVICIO	11
---	----

1.1. Diseño de intersecciones en vías urbanas	11
1.2. Consideraciones de diseño	17
1.3. Intersecciones convencionales a nivel	21
1.4. Intersecciones giratorias	25
1.5. Intersecciones a distinto nivel.....	29
1.6. Niveles de servicio.....	34

CAPÍTULO II

FLUJO VEHICULAR	38
-----------------------	----

2.1. Congestión vehicular	38
---------------------------------	----

2.2. Sistema vial urbano de transporte en el Perú.....	45
--	----

2.3. Sistema de transporte en el Perú	49
---	----

2.4. SYNCHRO TRAFFIC 8.0 para l optimización del flujo vehicular ..	54
---	----

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO EN FLUJOS VEHICULARES DE LAS INTERSECCIONES DE LA AV. JORGE BASADRE GROHMANN, UTILIZANDO SYNCHRO V.8 – TACNA, 2018.....	58
---	----

3.1. Introducción.....	58
------------------------	----

3.2. Aspectos metodológicos	60
-----------------------------------	----

3.3. Hallazgos	63
----------------------	----

3.3.1. Resultados de los aforos vehiculares.....	63
--	----

3.3.2. Nivel de servicio en las intersecciones.....	67
---	----

3.4. Discusión de resultados	69
------------------------------------	----

3.5. Conclusiones	73
-------------------------	----

REFLEXIONES FINALES.....	76
--------------------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
----------------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Volumen horario en hora pico - Intersección Av. Jorge Basadre Grohmann con Av. A. B. Leguía	11
Tabla 2. Volumen horario en hora pico - Intersección Av. Jorge Basadre Grohmann con Av. Gregorio Albarracín.....	11
Tabla 3. Índice medio diario.....	11
Tabla 4. Nivel de servicio en el escenario actual	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variación diaria	11
Figura 2. Clasificación Vehicular	11
Figura 3. Nivel de servicio por accesos y de la intersección Av. A.B. Leguía	11
Figura 4. Factor de Utilización (ICU) de la intersección Av. A.B. Leguía	11

INTRODUCCIÓN

La creciente urbanización y el aumento del parque automotor en las últimas décadas han planteado desafíos significativos para la gestión del tráfico en las ciudades, convirtiendo las intersecciones viales en puntos críticos de congestión, demoras y accidentes (Sharma & Biswas, 2021). El diseño eficiente de intersecciones viales en vías urbanas es crucial para garantizar la fluidez del tráfico, la seguridad vial y la accesibilidad universal (Litman, 2017). La comprensión de los principios de diseño geométrico, la aplicación de normas y estándares internacionales y nacionales, y la consideración de factores como el volumen y la composición del tráfico, la velocidad de diseño y las características del entorno urbano son esenciales para la creación de intersecciones que respondan a las necesidades de una movilidad urbana sostenible.

Este libro aborda de manera integral el diseño de intersecciones viales en vías urbanas, analizando los diferentes tipos de intersecciones, las consideraciones de diseño y las metodologías para evaluar su desempeño. El Capítulo I, titulado “Las Intersecciones Viales y los Niveles de Servicio”, introduce los conceptos básicos del diseño de intersecciones, presentando una clasificación de las mismas según su tipología (en T, en X, rotondas, etc.) y su función en la red vial urbana (Khan & Lu, 2023). Se exploran los principios de diseño geométrico, como la visibilidad, la alineación, la pendiente y el radio de giro, y se discuten las normas y estándares de diseño a nivel internacional y nacional (AASHTO, 2011). Asimismo, se identifican los factores que influyen en el diseño de intersecciones, como el volumen de tráfico, la composición del tráfico, la velocidad de diseño y las características del entorno urbano (Bichiou & Rakha, 2018).

El Capítulo II, titulado “Flujo Vehicular”, profundiza en la dinámica del tráfico vehicular, analizando los factores que contribuyen a la congestión y las estrategias para optimizar el flujo. Se aborda la congestión vehicular como un problema global que afecta a las ciudades de todo el mundo, generando demoras, pérdidas de productividad, contaminación ambiental y un deterioro en la calidad de vida (Thomson & Bull, 2002). Se analizan las causas de la congestión, como el crecimiento del parque automotor, la falta de planificación vial y la ineficiencia del transporte público (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007).

El Capítulo III, titulado “Evaluación del Nivel de Servicio en Flujos Vehiculares de las Intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann, utilizando Synchro V.8 - Tacna, 2018”, presenta una investigación aplicada sobre la evaluación del nivel de servicio en dos intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann en Tacna, Perú. Este capítulo, basado en la tesis de Paucara (2018), describe la problemática de la congestión vehicular en esta importante arteria de la ciudad, la metodología utilizada para la recolección de datos y el análisis de los resultados mediante el software Synchro V.8 y la metodología HCM 2010. Se presentan los hallazgos de la investigación, que evidencian un nivel de servicio deficiente en ambas intersecciones analizadas, y se discuten las implicaciones de estos resultados en el contexto urbano de Tacna (Paucara, 2018).

CAPÍTULO I

LAS INTERSECCIONES VIALES Y LOS NIVELES DE SERVICIO

1.1. Diseño de intersecciones en vías urbanas

Las intersecciones viales, como puntos neurálgicos de la red vial urbana, juegan un papel fundamental en la eficiencia y seguridad del tráfico (Pinos, 2016). Estas áreas, donde convergen dos o más vías permitiendo el flujo vehicular y peatonal en múltiples direcciones, requieren un diseño meticuloso para garantizar la seguridad, la eficiencia y la fluidez del tránsito. Un diseño adecuado no solo minimiza las demoras y los riesgos de accidentes, sino que también contribuye a una mejor calidad de vida para los usuarios de la vía, reduciendo la congestión y mejorando la accesibilidad (Llanos, 2018). La comprensión de la diversidad de tipologías de intersecciones existentes y los principios que guían su diseño es crucial para los ingenieros viales encargados de planificar y desarrollar la infraestructura urbana.

La clasificación de las intersecciones viales se basa principalmente en su geometría, el número de ramales que confluyen y su función dentro de

la red vial urbana (Khan & Lu, 2023). Una de las tipologías más comunes es la intersección en “T”, caracterizada por una vía que se intersecta perpendicularmente con otra. Esta configuración se utiliza generalmente para conectar vías secundarias con vías principales, o para dar acceso a propiedades adyacentes (Pinos, 2016). La simplicidad de su geometría la convierte en una opción viable en áreas con bajo volumen de tráfico o donde las limitaciones de espacio impiden diseños más complejos. Sin embargo, en situaciones de alta demanda, las intersecciones en “T” pueden presentar desafíos en términos de capacidad, especialmente para los giros a la izquierda.

Siguiendo con las tipologías, la intersección en “X” se distingue por la confluencia de dos vías que se cruzan, formando cuatro ramales (Pinos, 2016). Esta configuración es frecuente en el cruce de vías colectoras o locales, y en algunos casos, puede conectar vías arteriales. Las intersecciones en “X” ofrecen mayor flexibilidad para los movimientos vehiculares en comparación con las intersecciones en “T”, pero también presentan un mayor número de puntos de conflicto, lo que exige una cuidadosa consideración de la visibilidad y la señalización. Para mitigar los riesgos de accidentes, se pueden implementar medidas como carriles de giro exclusivos, islas canalizadoras y semaforización.

Ofreciendo una alternativa a las intersecciones convencionales, encontramos las rotondas, también conocidas como glorietas o intersecciones giratorias (Gálvez & Vásquez, 2019). Estas se caracterizan por un anillo de circulación unidireccional alrededor de una isla central, donde los vehículos que ingresan deben ceder el paso a los que ya circulan por el anillo (Gálvez & Vásquez, 2019). Las rotondas son especialmente eficientes en la gestión del tráfico en situaciones de alta demanda, ya que reducen los puntos de conflicto y permiten un flujo vehicular más fluido en comparación con las intersecciones semaforizadas. Sin embargo, su diseño requiere un espacio considerable, lo que puede ser una limitante en áreas urbanas densamente pobladas.

Más allá de su configuración geométrica, las intersecciones se categorizan según su función dentro de la red vial urbana, un aspecto crucial en la planificación de la movilidad (Khan & Lu, 2023). Las intersecciones de alto nivel se sitúan en el cruce de vías principales o arteriales, con el propósito de facilitar un flujo continuo de tráfico a alta velocidad (Pinos, 2016). La construcción de pasos a desnivel, puentes o túneles es la solución más efectiva para este tipo de intersección, ya que permite la separación del tráfico en diferentes niveles, eliminando la necesidad de detenerse y maximizando la capacidad de la vía. Las intersecciones de nivel medio, ubicadas en el cruce de vías colectoras, desempeñan la función de distribuir el tráfico entre las vías principales y las vías locales (Llanos, 2018). Estas intersecciones pueden estar semaforizadas o no, dependiendo del volumen de tráfico, la complejidad de los movimientos y las características del entorno urbano. La semaforización, en este caso, permite regular el tráfico y otorgar prioridad a ciertos movimientos, mejorando la seguridad y la eficiencia de la intersección.

Finalmente, las intersecciones de bajo nivel se encuentran en el cruce de vías locales, y su principal función es brindar acceso a las propiedades adyacentes (Gálvez & Vásquez, 2019). Estas intersecciones se caracterizan por su simplicidad, suelen ser simples y no semaforizadas, permitiendo un flujo de tráfico a baja velocidad y facilitando la integración con el entorno urbano. El diseño de este tipo de intersecciones debe considerar las necesidades de los peatones y ciclistas, asegurando una adecuada conectividad y priorizando la seguridad vial.

El diseño geométrico de las intersecciones viales se rige por principios fundamentales que buscan garantizar la fluidez, la eficiencia y, sobre todo, la seguridad del tráfico. La visibilidad se erige como uno de los principios más importantes, asegurando que los conductores tengan una visión clara y sin obstrucciones de los vehículos que se aproximan desde otras direcciones, así como de los peatones que cruzan la intersección (Pinos, 2016). Para garantizar una visibilidad adecuada, se deben considerar la distancia de parada, la distancia de adelantamiento y la distancia de cruce con otras

vías. Las obstrucciones visuales, como la vegetación densa, edificios altos o anuncios publicitarios, deben ser eliminadas o reubicadas para optimizar la visibilidad en la intersección.

La alineación de las vías que convergen en la intersección juega un papel fundamental en la seguridad vial (Pinos, 2016). La intersección ideal se forma con ángulos cercanos a 90 grados, lo que facilita la percepción de los vehículos que se aproximan, reduce la confusión y minimiza los riesgos de colisiones. Sin embargo, las restricciones topográficas del terreno o las limitaciones del espacio urbano a menudo exigen que las intersecciones se diseñen con ángulos diferentes a 90 grados (Gálvez & Vásquez, 2019). En estos casos, se deben implementar medidas adicionales para mejorar la visibilidad y la seguridad, como el diseño de carriles de giro exclusivos, la implementación de señalización horizontal y vertical, y la reducción de la velocidad de diseño.

La pendiente de las vías en la intersección es otro factor a considerar en el diseño. Las pendientes pronunciadas pueden afectar significativamente la velocidad de los vehículos, la distancia de frenado y la capacidad de aceleración, aumentando los riesgos de accidentes (Pinos, 2016). Las normas de diseño geométrico establecen límites para las pendientes máximas permitidas en intersecciones, y en casos de pendientes pronunciadas, se pueden implementar medidas como la construcción de muros de contención o la modificación de la rasante de la vía para reducir la pendiente. El radio de giro, que define la curvatura del recorrido de los vehículos al girar en la intersección, impacta directamente la seguridad y la eficiencia de la maniobra (Guerra & Vidal, 2024). Radios de giro demasiado pequeños pueden dificultar el giro de vehículos largos, como autobuses o camiones, aumentando el riesgo de colisiones con otros vehículos o con elementos de la infraestructura. El diseño del radio de giro debe considerar las características de los vehículos que se espera que circulen por la intersección, incluyendo su longitud, ancho y velocidad de diseño.

Asegurar la seguridad y la eficiencia de las intersecciones viales depende en gran medida del cumplimiento de normas y estándares de diseño. A nivel internacional, el AASHTO Green Book y el HCM se reconocen como los principales manuales de referencia para el diseño geométrico de carreteras e intersecciones (AASHTO, 2011; Khan & Ullah, 2019). Estos manuales establecen criterios de diseño para diferentes elementos de la intersección, como la distancia de visibilidad, la alineación, la pendiente, el radio de giro, el ancho de los carriles y la configuración de las fases semafóricas (AASHTO, 2011; Khan & Ullah, 2019). Su aplicación, basada en una vasta investigación y experiencia en ingeniería vial, garantiza un diseño que cumple con los estándares de seguridad y eficiencia aceptados internacionalmente.

Complementando las normas internacionales, cada país suele contar con normativas nacionales que establecen criterios específicos para el diseño de intersecciones viales, adaptándolos a las condiciones locales (Gálvez & Vásquez, 2019). Estas normativas pueden considerar las características del tráfico local, la topografía del terreno, las condiciones climáticas, la disponibilidad de materiales de construcción y otros factores relevantes. La familiarización con las normas y estándares aplicables, tanto a nivel internacional como nacional, es fundamental para los ingenieros viales, permitiéndoles crear diseños que cumplan con los requisitos de seguridad y eficiencia, adaptándose al mismo tiempo a las condiciones específicas del entorno urbano local.

El diseño de intersecciones viales en vías urbanas se ve influenciado por una variedad de factores, y comprender su impacto es esencial para la creación de una infraestructura vial eficiente y segura. El volumen de tráfico, uno de los factores más determinantes, refleja la cantidad de vehículos que circulan por la intersección en un período determinado (Llanos, 2018). Un alto volumen de tráfico exige un diseño que pueda manejar un flujo vehicular considerable sin generar congestión. En este sentido, las intersecciones con alta demanda pueden requerir la implementación de

un mayor número de carriles, carriles de giro exclusivos o la semaforización para regular el flujo vehicular.

La composición del tráfico, que describe los tipos de vehículos que utilizan la intersección, también juega un rol fundamental en el diseño (Llanos, 2018). La presencia de vehículos pesados, autobuses o bicicletas puede influir en la elección del tipo de intersección, el ancho de los carriles, el radio de giro y la configuración de las fases semafóricas. Por ejemplo, la presencia de un alto porcentaje de vehículos pesados puede requerir radios de giro más amplios, mientras que una alta densidad de bicicletas puede exigir la implementación de ciclovías y la adaptación de la señalización para garantizar la seguridad de los ciclistas.

La velocidad de diseño es otro factor clave en el diseño de intersecciones viales (Bichiou & Rakha, 2018). Esta velocidad, determinada por las normas de diseño geométrico en función de la jerarquía de la vía y las características del entorno, influye en la distancia de visibilidad, la alineación, el radio de giro y la pendiente de la intersección. Las intersecciones con alta velocidad de diseño, como las que se encuentran en vías arteriales o autopistas, requieren distancias de visibilidad más largas, radios de giro más amplios y pendientes más suaves para garantizar la seguridad vial.

Finalmente, las características del entorno urbano juegan un papel fundamental en el diseño de las intersecciones (Bichiou & Rakha, 2018). La presencia de escuelas, hospitales, zonas comerciales o residenciales, así como la densidad poblacional, la tipología de los edificios y la presencia de áreas verdes, pueden influir en la elección del tipo de intersección, la ubicación de los cruces peatonales, la implementación de medidas de seguridad para peatones y ciclistas, y la necesidad de mitigar el impacto ambiental de la intersección, como la contaminación acústica y la contaminación del aire. Un diseño que integre armónicamente la intersección con el entorno urbano no solo mejora la fluidez del tráfico, sino que también contribuye a la calidad de vida de los ciudadanos.

En definitiva, el diseño de intersecciones viales en vías urbanas es un proceso complejo que exige un análisis minucioso de múltiples factores. La aplicación de los principios de diseño geométrico, el cumplimiento de las normas y estándares internacionales y nacionales, y la consideración de los factores que influyen en el diseño son esenciales para asegurar que las intersecciones sean seguras, eficientes y contribuyan a una movilidad urbana sostenible (Pinos, 2016). Un diseño adecuado no solo mejora la fluidez del tráfico, sino que también promueve la seguridad vial, la accesibilidad universal y la integración con el entorno urbano, creando ciudades más habitables y mejorando la calidad de vida de los ciudadanos.

1.2. Consideraciones de diseño

El diseño de intersecciones viales en vías urbanas es un proceso complejo que exige un enfoque integral, trascendiendo la mera disposición geométrica de las vías (Pinos, 2016). Es preciso considerar una serie de factores cruciales que garanticen el correcto funcionamiento de la intersección, su eficiencia, seguridad y su armoniosa integración con el tejido urbano. Estas consideraciones de diseño abarcan aspectos clave como la seguridad vial, la capacidad y el nivel de servicio, la accesibilidad universal y el impacto ambiental, conformando los pilares fundamentales para la creación de una infraestructura vial sostenible y eficiente.

Priorizando la integridad de los usuarios de la vía, la seguridad vial se posiciona como la consideración fundamental en el diseño de cualquier intersección (Pinos, 2016). Minimizar el riesgo de accidentes, protegiendo a conductores, peatones y ciclistas, debe ser la prioridad en todo proyecto de diseño vial. Las intersecciones, como puntos de convergencia del tráfico, presentan un riesgo intrínseco de colisiones, especialmente en los puntos de conflicto donde las trayectorias de los vehículos se cruzan (Badgley et al., 2021). Para mitigar este riesgo, se deben implementar estrategias de diseño que reduzcan la cantidad de puntos de conflicto, facilitando la percepción de los vehículos que se aproximan y promoviendo un comportamiento vial preventivo. La provisión de una adecuada visibilidad,

tanto para conductores como para peatones, es crucial para la seguridad vial (Badgley et al., 2021). Esto implica controlar las obstrucciones visuales, como la vegetación densa, edificios altos o anuncios publicitarios, y asegurar una iluminación adecuada, especialmente durante la noche y en condiciones climáticas adversas. La ubicación estratégica de las luminarias, la intensidad lumínica adecuada y la uniformidad de la iluminación son factores clave para una visibilidad óptima.

Complementando la visibilidad, la señalización desempeña un papel vital en la seguridad vial, guiando el tráfico y previniendo accidentes (Pinos, 2016). Un sistema de señalización eficiente incluye señales de tráfico, marcas viales y semáforos, todos trabajando en conjunto para transmitir información clara, consistente y visible a los conductores (Guerra & Vidal, 2024). Las señales de tráfico deben estar ubicadas estratégicamente, con un tamaño y una tipografía que asegure su legibilidad a distancia. Las marcas viales, como las líneas de carril, las flechas direccionales y los cruces peatonales, deben ser altamente visibles, especialmente en condiciones de lluvia o poca luz. Los semáforos, con tiempos de ciclo y fases bien definidos, regulan el flujo vehicular y otorgan prioridad a los peatones en los cruces, evitando conflictos y reduciendo los riesgos de accidentes.

Profundizando en las medidas de seguridad, la iluminación en las intersecciones es otro factor crucial para mejorar la visibilidad y la seguridad vial (Badgley et al., 2021). Una iluminación adecuada, especialmente durante la noche, permite a los conductores identificar con mayor facilidad los peligros potenciales, como peatones que cruzan la vía, vehículos detenidos o cambios en la geometría de la intersección. El diseño de la iluminación debe considerar la intensidad, la uniformidad y la distribución de la luz, evitando el deslumbramiento y asegurando una visibilidad adecuada en toda la intersección (Badgley et al., 2021). Se deben considerar diferentes tipos de luminarias, como las de alta presión de sodio, las de haluro metálico o las LED, en función de su eficiencia energética, su vida útil y su impacto en el entorno urbano.

En paralelo a la seguridad vial, la capacidad y el nivel de servicio son consideraciones críticas en el diseño de intersecciones, especialmente en áreas con alto volumen de tráfico (Llanos, 2018). La capacidad de una intersección se define como la cantidad máxima de vehículos que puede manejar en un período determinado sin generar congestionamiento (Lopez et al., 2018). Un diseño que no tenga en cuenta la capacidad puede resultar en largas colas, tiempos de espera excesivos y un aumento en las emisiones de los vehículos. El nivel de servicio, por otro lado, es una medida de la calidad del flujo vehicular, que considera factores como la demora, la velocidad y la libertad de movimiento (Lopez et al., 2018). Un alto nivel de servicio implica un flujo vehicular fluido, con pocas interrupciones y tiempos de viaje cortos.

Para optimizar la capacidad y el nivel de servicio, se deben implementar estrategias de diseño que maximicen la eficiencia de la intersección (Rodríguez Ventura, 2020). La optimización de la geometría de la intersección, como la implementación de carriles de giro exclusivos, puede reducir los puntos de conflicto y mejorar la fluidez del tráfico. La sincronización de semáforos, que coordina los tiempos de verde de los semáforos en una serie de intersecciones, puede minimizar las detenciones y aumentar la velocidad promedio de los vehículos (Llanos, 2018). La gestión del estacionamiento en las vías de acceso, como la implementación de restricciones de estacionamiento o la creación de zonas de carga y descarga, puede mejorar la fluidez del tráfico y reducir la congestión.

La accesibilidad universal es un principio fundamental en el diseño de infraestructuras, y las intersecciones viales no son una excepción (Litman, 2017). Un diseño de intersección que sea accesible para todos, independientemente de su capacidad física o su modo de transporte, promueve la equidad, la inclusión social y la calidad de vida. Esto implica considerar las necesidades de los peatones, ciclistas y personas con movilidad reducida al diseñar los cruces peatonales, las rampas, las aceras y la señalización (Litman, 2017). Los cruces peatonales deben ser seguros, con tiempos de espera adecuados que permitan a los peatones, incluyendo a los de movi-

lidad reducida, cruzar la vía sin prisas ni riesgos. La señalización, tanto horizontal como vertical, debe ser clara, visible y comprensible para todas las personas, incluyendo a las personas con discapacidad visual. Las rampas, con pendientes adecuadas y superficies antideslizantes, deben proporcionar un acceso sin barreras para las personas en sillas de ruedas o con movilidad reducida.

Para los ciclistas, las ciclovías deben integrarse con la intersección de manera segura y eficiente, evitando los puntos de conflicto con los vehículos y proveyendo una señalización específica (Litman, 2017). Se deben considerar diferentes tipos de ciclovías, como las segregadas, las compartidas o las de banda, en función de las características del tráfico y el espacio disponible. Un diseño que ignore las necesidades de los peatones, ciclistas y personas con movilidad reducida puede generar barreras para su movilidad, limitando su acceso a oportunidades de trabajo, educación, salud y recreación, y contribuyendo a la exclusión social.

El impacto ambiental es un factor crítico a considerar en el diseño de intersecciones viales, reconociendo que las infraestructuras de transporte pueden generar impactos significativos en el medio ambiente (NCHRP, 2010, Citado en Khan & Ullah, 2019). Minimizar la contaminación acústica, la contaminación del aire y el consumo de energía debe ser una prioridad en el diseño. La contaminación acústica, generada principalmente por el ruido del tráfico, puede afectar la salud y el bienestar de los residentes que viven cerca de las intersecciones (NCHRP, 2010, Citado En Khan & Ullah, 2019). Para mitigar el impacto del ruido, se pueden implementar medidas como barreras acústicas, pavimentos silenciosos o la reducción de la velocidad de diseño. La contaminación del aire, proveniente principalmente de las emisiones de los vehículos, afecta la calidad del aire y contribuye al cambio climático (NCHRP, 2010, Citado En Khan & Ullah, 2019). Un diseño que promueva un flujo vehicular fluido, reduzca las aceleraciones y desaceleraciones innecesarias y fomente el uso de modos de transporte sostenibles, como el transporte público o la bicicleta, puede contribuir a la reducción de las emisiones.

El consumo de energía, asociado a la iluminación y la operación de los semáforos, también debe ser considerado en el diseño. La implementación de tecnologías eficientes, como la iluminación LED y los sistemas de control adaptativo de tráfico, permite reducir significativamente el consumo de energía, contribuyendo a la sostenibilidad de la infraestructura vial (NCHRP, 2010, Citado En Khan & Ullah, 2019). Un diseño de intersección que minimice su impacto ambiental no solo contribuye a la protección del medio ambiente, sino que también puede generar beneficios económicos a largo plazo, reduciendo los costos de operación y mantenimiento.

En definitiva, el diseño de intersecciones viales en vías urbanas exige un enfoque integral que abarque una amplia gama de consideraciones, priorizando la seguridad vial, optimizando la capacidad y el nivel de servicio, garantizando la accesibilidad universal y minimizando el impacto ambiental (Pinos, 2016). Estas consideraciones de diseño, basadas en un análisis profundo de las necesidades del tráfico, las características del entorno urbano y los principios de diseño geométrico, son esenciales para la creación de una infraestructura vial sostenible, eficiente e integrada con el entorno urbano.

1.3. Intersecciones convencionales a nivel

Las intersecciones convencionales a nivel, definidas como la confluencia de dos o más vías en un mismo plano, representan un elemento omnipresente en el tejido urbano, facilitando la conectividad y el flujo vehicular en múltiples direcciones (Sharma & Biswas, 2021). Estas intersecciones, donde los vehículos se cruzan o convergen sin la separación de niveles, se clasifican principalmente en dos tipos: con semáforos y sin semáforos (Pinos, 2016). La elección del tipo de control depende del volumen de tráfico, la complejidad de los movimientos, las necesidades de seguridad y las características del entorno urbano. Su diseño, basado en principios de visibilidad, geometría y señalización, busca optimizar la fluidez del tráfico, minimizar los riesgos de accidentes y garantizar una interacción segura y eficiente entre vehículos, peatones y ciclistas.

Profundizando en los tipos de intersecciones convencionales, las que carecen de semáforos, también conocidas como intersecciones sin control, se emplean generalmente en áreas con bajo volumen de tráfico, donde la prioridad de paso se define por las normas de circulación vehicular (Pinos, 2016). En estas intersecciones, los conductores deben ceder el paso a los vehículos que se aproximan por la derecha, y en algunos casos, se puede utilizar señalización vertical, como las señales de “PARE” o “CEDA EL PASO”, para indicar la prioridad de paso de forma explícita. La simplicidad y el bajo costo de implementación son las principales ventajas de este tipo de intersecciones. Sin embargo, a medida que el volumen de tráfico aumenta, las intersecciones sin semáforos pueden volverse ineficientes, generando demoras y aumentando el riesgo de accidentes debido a la falta de un control preciso del flujo vehicular.

En contraste con las intersecciones sin control, las intersecciones convencionales a nivel con semáforos utilizan señales luminosas para regular el tráfico, asignando el derecho de paso a los vehículos en diferentes direcciones de forma secuencial (Llanos, 2018). La implementación de semáforos permite un control más preciso del flujo vehicular, optimizando la capacidad de la intersección y mejorando la seguridad vial, especialmente en áreas con alto volumen de tráfico o cruces complejos (Guerra & Vidal, 2024). La configuración de los tiempos de ciclo y las fases del semáforo se determina en función de las características del tráfico, la composición vehicular y los movimientos permitidos, buscando minimizar las demoras y maximizar la eficiencia (Llanos, 2018). Los avances tecnológicos en sistemas de control de tráfico, como la implementación de semáforos inteligentes que se adaptan en tiempo real a las condiciones del tráfico, han mejorado significativamente la eficiencia y la seguridad de las intersecciones semaforizadas.

Las intersecciones convencionales a nivel, independientemente de si cuentan con semáforos o no, comparten una serie de características principales que las definen (Sharma & Biswas, 2021). En primer lugar, todos los movimientos vehiculares se realizan en un mismo plano, sin la separa-

ción de niveles. Esto implica que los vehículos que cruzan o convergen en la intersección comparten el mismo espacio físico, lo que exige un diseño meticuloso que minimice los puntos de conflicto y garantice la visibilidad. En segundo lugar, las intersecciones convencionales a nivel suelen tener una geometría simple, con ángulos de intersección cercanos a 90 grados y un diseño relativamente compacto, lo que las convierte en una opción económica y fácil de implementar en diversos contextos urbanos (Pinos, 2016).

A pesar de su simplicidad, las intersecciones convencionales a nivel presentan una capacidad limitada para manejar altos volúmenes de tráfico, lo que puede generar congestionamientos y demoras en las horas pico, especialmente en áreas con alta densidad de población o actividad comercial (Pinos, 2016). En comparación con otros tipos de intersecciones, como las rotondas o los pasos a desnivel, las intersecciones convencionales a nivel presentan un mayor número de puntos de conflicto, lo que aumenta el riesgo de accidentes. Para mitigar este riesgo, es crucial implementar medidas de seguridad, como carriles de giro exclusivos, islas canalizadoras y una señalización adecuada. Además, la necesidad de detenerse en la intersección, especialmente en las intersecciones semaforizadas, puede interrumpir el flujo vehicular y aumentar los tiempos de viaje, lo que puede afectar la eficiencia del sistema vial.

Las intersecciones convencionales a nivel, a pesar de sus limitaciones, presentan ventajas que las hacen una opción viable en muchos contextos urbanos (Pinos, 2016). Su simplicidad en diseño y construcción las convierte en una solución económica y fácil de implementar, especialmente en áreas con bajo volumen de tráfico o donde las limitaciones de espacio impiden diseños más complejos. Su bajo costo en comparación con otros tipos de intersecciones, como las rotondas o los pasos a desnivel, las hace una opción atractiva, especialmente para proyectos con presupuestos limitados. Su flexibilidad les permite adaptarse a una variedad de configuraciones geométricas y volúmenes de tráfico, con la implementación de medidas de control como la señalización y la semaforización.

Sin embargo, es crucial considerar sus desventajas para determinar su viabilidad en cada contexto (Pinos, 2016). Su capacidad limitada para manejar altos volúmenes de tráfico puede generar congestionamientos y demoras, especialmente en las horas pico, lo que puede afectar la eficiencia del sistema vial y la calidad de vida de los usuarios. El mayor riesgo de accidentes, derivado de la presencia de un mayor número de puntos de conflicto, es otra desventaja a considerar, especialmente en áreas con alta densidad peatonal o ciclistas. La interrupción del flujo vehicular, inherente a las intersecciones semaforizadas, puede generar demoras e ineficiencias en el sistema vial.

Las intersecciones convencionales a nivel se aplican en una variedad de contextos urbanos, adaptándose a las necesidades del tráfico y las características del entorno (Sharma & Biswas, 2021). En áreas residenciales con bajo volumen de tráfico, las intersecciones sin semáforos pueden ser una solución viable y económica, siempre y cuando la visibilidad sea adecuada y la señalización sea clara (Pinos, 2016). En zonas comerciales con mayor flujo vehicular, las intersecciones semaforizadas son generalmente la mejor opción para regular el tráfico y garantizar la seguridad (Guerra & Vidal, 2024). La configuración de los tiempos de ciclo y las fases del semáforo se deben ajustar al volumen de tráfico, la presencia de peatones y las necesidades de los comercios locales, buscando un equilibrio entre la fluidez del tráfico y la seguridad de los peatones. En vías arteriales o colectoras, las intersecciones convencionales a nivel se utilizan a menudo para conectar vías secundarias, y en estos casos, la implementación de carriles de giro exclusivos y una señalización adecuada son cruciales para minimizar los conflictos y mantener la fluidez del tráfico.

En áreas con alta densidad poblacional o un elevado volumen de tráfico, las intersecciones convencionales a nivel pueden llegar a ser insuficientes, generando congestionamientos, aumentando los tiempos de viaje y elevando el riesgo de accidentes (Guerra & Vidal, 2024). En estas situaciones, es necesario considerar alternativas como las rotondas o los pasos a desnivel, que ofrecen mayor capacidad, fluidez del tráfico y una mayor

seguridad vial. La elección del tipo de intersección más adecuado para un contexto específico dependerá de un análisis exhaustivo de las condiciones locales, el volumen y la composición del tráfico, las limitaciones del espacio urbano, los objetivos de diseño y los recursos disponibles.

1.4. Intersecciones giratorias

Las intersecciones giratorias, también conocidas como rotondas o glorietas, se han establecido como una alternativa altamente eficiente y segura a las intersecciones convencionales, particularmente en zonas con alto volumen de tráfico (Celikoglu & Silgu, 2016). Su diseño, que prioriza el flujo continuo del tráfico a través de un anillo de circulación unidireccional alrededor de una isla central, ha demostrado ser altamente efectivo en la reducción de los puntos de conflicto, la mejora de la seguridad vial, la optimización de la capacidad y la fluidez vehicular (Pinos, 2016). La creciente popularidad de las intersecciones giratorias en el diseño vial urbano se debe a su capacidad para manejar el tráfico de manera más eficiente y segura que las intersecciones convencionales, especialmente en puntos con alta demanda vehicular.

Profundizando en las diferentes configuraciones, encontramos una variedad de tipos de intersecciones giratorias, cada una adaptada a las necesidades específicas del tráfico y las limitaciones del espacio urbano (Celikoglu & Silgu, 2016). Las rotondas convencionales, con diámetros que varían entre 30 y 60 metros, son las más comunes y se adaptan a una amplia gama de volúmenes de tráfico. Su diseño, relativamente simple, permite una circulación fluida y reduce los puntos de conflicto. Sin embargo, en situaciones de tráfico extremadamente alto, las rotondas convencionales pueden llegar a saturarse, generando demoras y requiriendo la implementación de medidas adicionales de control del tráfico. Las mini rotondas, con diámetros menores a 30 metros, son una solución eficiente para áreas con limitaciones de espacio, como zonas residenciales o centros históricos (Gálvez & Vásquez, 2019). Su diseño compacto permite su integración en entornos urbanos más reducidos, calmando el tráfico y mejorando la

seguridad de los peatones. Sin embargo, su capacidad para manejar altos volúmenes de tráfico es limitada, y pueden no ser adecuadas para el cruce de vías principales o arteriales.

Las turbo rotondas, un diseño más reciente, se caracterizan por carriles en espiral que guían a los vehículos hacia la salida deseada, reduciendo la necesidad de cambio de carril dentro de la rotonda y minimizando los puntos de conflicto (Celikoglu & Silgu, 2016). Este diseño es particularmente eficiente en la gestión del tráfico en vías con alta velocidad de diseño, ya que permite una circulación más fluida y reduce el riesgo de accidentes. Sin embargo, las turbo rotondas pueden ser más complejas para los conductores que no están familiarizados con su funcionamiento, y requieren una señalización clara y precisa para evitar confusiones. Las glorietas, un término más amplio que las rotondas, pueden tener una geometría más compleja, con dos o más anillos de circulación o con carriles especiales para ciertos movimientos (Pinos, 2016). Este tipo de intersección giratoria se utiliza a menudo en el cruce de vías con diferentes jerarquías o en situaciones de tráfico complejas, donde se necesita una mayor flexibilidad en el diseño.

El diseño efectivo de las intersecciones giratorias se basa en la comprensión y aplicación de sus características principales, que garantizan un funcionamiento seguro y eficiente (Celikoglu & Silgu, 2016). En el corazón de la rotonda se encuentra la isla central, generalmente circular o elíptica, que define el espacio físico de la intersección y actúa como un punto de referencia visual para los conductores. El anillo de circulación, que rodea la isla central, es unidireccional y debe tener un ancho suficiente para acomodar el número de carriles necesario para manejar el flujo vehicular (Pinos, 2016). El diseño del anillo de circulación debe considerar la velocidad de diseño, el volumen de tráfico y la composición vehicular para garantizar una circulación fluida y evitar la congestión.

Las entradas a la rotonda se diseñan con un ángulo de deflexión que facilita la incorporación de los vehículos al anillo sin interrumpir el flujo

(Celikoglu & Silgu, 2016). Generalmente, las entradas tienen un solo carril, lo que simplifica la maniobra de los conductores y reduce los puntos de conflicto. Las salidas, también con un solo carril en la mayoría de los casos, se diseñan para permitir una salida suave del anillo sin interferir con los vehículos que ingresan (Celikoglu & Silgu, 2016). La señalización es un elemento crucial en las intersecciones giratorias, ya que proporciona a los conductores la información necesaria para navegar la intersección de manera segura (Pinos, 2016). Señales de tráfico, marcas viales y, en algunos casos, semáforos, se utilizan para indicar la prioridad de paso, los movimientos permitidos, la velocidad máxima y la presencia de peatones.

Las intersecciones giratorias ofrecen una serie de ventajas significativas en comparación con otros tipos de intersecciones, especialmente en términos de seguridad y capacidad (Celikoglu & Silgu, 2016). En términos de seguridad, las rotondas reducen drásticamente el riesgo de accidentes graves, como las colisiones frontales o en ángulo recto, ya que obligan a los vehículos a reducir la velocidad y a ceder el paso a los que ya circulan por el anillo (Pinos, 2016). La geometría circular de la rotonda, combinada con la reducción de la velocidad, elimina los puntos de conflicto directos, creando un entorno vial más seguro para todos los usuarios. Además, la ausencia de semáforos en la mayoría de las rotondas reduce la posibilidad de que los conductores se pasen la luz roja, una de las principales causas de accidentes en intersecciones convencionales.

En términos de capacidad, las rotondas pueden manejar un mayor volumen de tráfico que las intersecciones convencionales, especialmente en situaciones de alta demanda (Gálvez & Vásquez, 2019). El flujo continuo del tráfico, sin las interrupciones provocadas por los semáforos, permite que las rotondas procesen un mayor número de vehículos por hora. Además, la capacidad de las rotondas se puede aumentar mediante el diseño de carriles adicionales, la configuración de carriles en espiral o la implementación de sistemas de control de tráfico adaptativo (Celikoglu & Silgu, 2016). Estos sistemas, que utilizan sensores para detectar el volumen de tráfico y ajustar los tiempos de verde de los semáforos en las entradas, per-

miten optimizar la capacidad de la rotonda en tiempo real, respondiendo a las fluctuaciones del tráfico.

A pesar de sus numerosas ventajas, las intersecciones giratorias también presentan desventajas que deben ser consideradas cuidadosamente durante el proceso de diseño (Celikoglu & Silgu, 2016). La necesidad de un espacio considerable para su construcción es una de las principales limitaciones. En áreas urbanas densamente pobladas o con restricciones de espacio, la implementación de una rotonda puede ser inviable o muy costosa (Pinos, 2016). El costo de construcción de una rotonda, que incluye la isla central, el anillo de circulación y las conexiones con las vías de acceso, puede ser mayor que el de una intersección convencional, especialmente si se requiere la adquisición de terrenos adicionales.

Las rotondas también pueden ser más complejas para los conductores que no están familiarizados con su funcionamiento (Celikoglu & Silgu, 2016). La necesidad de ceder el paso a los vehículos que ya circulan por el anillo puede generar confusión, especialmente en rotondas con multiple carriles o geometría compleja. La señalización adecuada y la educación vial son cruciales para asegurar que los conductores comprendan las reglas de circulación en las rotondas y puedan navegarlas de manera segura.

Las intersecciones giratorias se han implementado con éxito en una amplia variedad de contextos urbanos, demostrando su adaptabilidad y eficiencia en la gestión del tráfico (Celikoglu & Silgu, 2016). En áreas residenciales, las mini rotondas se han convertido en una solución popular para calmar el tráfico, reducir la velocidad de los vehículos y mejorar la seguridad de los peatones (Gálvez & Vásquez, 2019). Su diseño compacto las hace ideales para este tipo de entorno, donde el espacio disponible es limitado. En zonas comerciales, las rotondas convencionales pueden manejar eficientemente el alto volumen de tráfico generado por centros comerciales, supermercados y otros establecimientos, minimizando las demoras y mejorando la accesibilidad. En vías arteriales o colectoras, las rotondas pueden ser una alternativa efectiva a las intersecciones semafo-

rizadas, especialmente en puntos con alto volumen de tráfico o donde se busca un flujo vehicular más continuo.

En zonas rurales, las rotondas se utilizan cada vez más en el cruce de carreteras, demostrando ser una solución eficaz para reducir el riesgo de accidentes graves y mejorar la fluidez del tráfico (Celikoglu & Silgu, 2016). Su diseño, que obliga a los vehículos a reducir la velocidad y a ceder el paso, minimiza la severidad de las colisiones y aumenta la seguridad vial. La elección del tipo de rotonda más adecuado para un contexto rural dependerá del volumen de tráfico, la velocidad de diseño, la geometría de la intersección y las características del entorno. En áreas con limitaciones de espacio, se pueden utilizar rotondas compactas o diseños asimétricos que se adaptan a la topografía del terreno.

En definitiva, las intersecciones giratorias han revolucionado el diseño vial urbano, ofreciendo una alternativa eficiente, segura y estética a las intersecciones convencionales (Celikoglu & Silgu, 2016). Su diseño, basado en la circulación circular y la priorización del flujo continuo, minimiza los puntos de conflicto, reduce la velocidad del tráfico y mejora la fluidez vehicular (Pinos, 2016). Las rotondas son especialmente beneficiosas en áreas con alto volumen de tráfico, ya que pueden manejar una mayor demanda vehicular que las intersecciones semaforizadas, reduciendo las demoras y mejorando la eficiencia del sistema vial. La elección del tipo de rotonda más adecuado dependerá de un análisis exhaustivo de las condiciones locales, el volumen y la composición del tráfico, las limitaciones del espacio urbano y los objetivos de diseño.

1.5. Intersecciones a distinto nivel

Las intersecciones a distinto nivel, también conocidas como pasos a desnivel, emergen como soluciones de ingeniería cruciales para la gestión del tráfico en las congestionadas vías urbanas (Ceder, 2021). Estas estructuras, diseñadas para separar el flujo vehicular en diferentes planos, eliminan los puntos de conflicto entre vehículos que se cruzan o conver-

gen, mejorando significativamente la seguridad y la eficiencia del tránsito (Pinos, 2016). Su aplicación, especialmente en el cruce de vías principales o arteriales con alta densidad de tráfico, permite aumentar la capacidad de la intersección, minimizar las demoras, y optimizar la fluidez vehicular (Gálvez & Vásquez, 2019). Sin embargo, la construcción de intersecciones a distinto nivel conlleva una inversión considerable y puede generar un mayor impacto ambiental en comparación con las intersecciones convencionales a nivel.

Profundizando en la tipología de estas estructuras, encontramos diversos tipos de intersecciones a distinto nivel, cada uno con características específicas que lo hacen adecuado para un contexto particular (Ceder, 2021). Los pasos a desnivel, también conocidos como cruces a desnivel, son la opción más común, donde una vía pasa por encima o por debajo de la otra, permitiendo un flujo vehicular continuo sin la necesidad de detenerse (Pinos, 2016). Su diseño puede variar en complejidad, desde pasos a desnivel de un solo nivel, adecuados para cruces simples, hasta estructuras de múltiples niveles, capaces de manejar el tráfico en intersecciones complejas con un alto volumen de vehículos. La elección del tipo de paso a desnivel depende del espacio disponible, la topografía del terreno, la configuración de las vías y los objetivos de diseño.

Complementando los pasos a desnivel, los puentes emergen como estructuras que permiten el paso de una vía por encima de un obstáculo físico, como un río, un valle o una línea ferroviaria (Ceder, 2021). En el contexto de las intersecciones a distinto nivel, los puentes se utilizan para separar el tráfico de la vía principal del tráfico de la vía secundaria que cruza por debajo, eliminando los puntos de conflicto y permitiendo un flujo continuo en la vía principal (Pinos, 2016). El diseño de los puentes debe considerar la altura libre sobre el obstáculo, la longitud del puente, la capacidad de carga, las condiciones del terreno y las características estéticas del entorno urbano.

Como una alternativa subterránea, los túneles se utilizan para el paso de una vía por debajo de un obstáculo, como una montaña, una colina o una zona urbana densamente poblada (Ceder, 2021). En el diseño de intersecciones, los túneles permiten separar el tráfico de la vía principal del tráfico de la vía secundaria que cruza por encima, minimizando las interrupciones del flujo vehicular y reduciendo el impacto visual de la infraestructura vial en el entorno urbano. La construcción de túneles es una opción viable cuando las limitaciones de espacio o las condiciones topográficas impiden la construcción de pasos a desnivel o puentes. Sin embargo, la construcción de túneles es generalmente más costosa que la de otras estructuras viales, y requiere una planificación y ejecución meticulosa para garantizar la seguridad y la ventilación.

Las intersecciones a distinto nivel se caracterizan por características principales que contribuyen a su eficiencia y seguridad. La separación del tráfico en diferentes niveles, mediante la construcción de puentes, túneles o pasos a desnivel, es el elemento fundamental que permite la eliminación de los puntos de conflicto entre vehículos que se cruzan (Ceder, 2021). Esta separación garantiza un flujo vehicular continuo, sin la necesidad de detenerse o ceder el paso, lo que aumenta significativamente la capacidad de la intersección y reduce las demoras (Pinos, 2016).

Para conectar los diferentes niveles de la intersección, se diseñan rampas que permiten a los vehículos acceder o salir de la vía principal de forma segura y eficiente (Ceder, 2021). El diseño de las rampas debe considerar la velocidad de diseño, el volumen de tráfico, la composición vehicular y las limitaciones del espacio disponible, garantizando que los vehículos puedan acelerar o desacelerar de forma segura y sin generar conflictos con el tráfico principal. Las señales de tráfico y las marcas viales son esenciales para guiar el tráfico y garantizar la seguridad en las intersecciones a distinto nivel, especialmente en las rampas de acceso y salida (Pinos, 2016). Estas señales deben ser claras, visibles, comprensibles y ubicadas estratégicamente para proporcionar a los conductores la información necesaria para navegar la intersección de forma segura y eficiente.

Las ventajas de las intersecciones a distinto nivel son notables, especialmente en términos de capacidad y seguridad (Ceder, 2021). La eliminación de los puntos de conflicto reduce drásticamente el riesgo de accidentes, creando un entorno vial más seguro para conductores, peatones y ciclistas (Pinos, 2016). La capacidad de la intersección aumenta significativamente, permitiendo manejar un mayor volumen de tráfico sin generar congestionamientos. El flujo vehicular continuo, sin las interrupciones provocadas por los semáforos o la necesidad de ceder el paso, reduce las demoras, mejora la eficiencia del sistema vial y reduce las emisiones de los vehículos. Además, las intersecciones a distinto nivel pueden mejorar la estética del entorno urbano, al eliminar la presencia de semáforos y la congestión vehicular, y al integrar la infraestructura vial con el paisaje urbano de forma más armoniosa.

Sin embargo, la construcción de intersecciones a distinto nivel conlleva desventajas que deben ser consideradas en el proceso de diseño y planificación (Ceder, 2021). El costo de construcción, que incluye la adquisición de terrenos, la excavación, la construcción de puentes o túneles y la implementación de la señalización y la iluminación, es significativamente mayor que el de las intersecciones convencionales a nivel (Pinos, 2016).

El impacto ambiental, especialmente en la fase de construcción, puede ser considerable, incluyendo la generación de polvo, ruido, vibraciones, afectación de la vegetación y la fauna, y el uso de materiales de construcción con alta huella de carbono. Además, las intersecciones a distinto nivel pueden fragmentar los espacios urbanos, creando barreras físicas para los peatones y dificultando la conectividad entre diferentes áreas de la ciudad.

La aplicación de las intersecciones a distinto nivel se observa en una variedad de contextos urbanos, desde las concurridas autopistas hasta las zonas residenciales (Ceder, 2021). En el cruce de vías arteriales o autopistas, las intersecciones a distinto nivel son la solución preferida para garantizar un flujo vehicular continuo a alta velocidad, minimizando las interrupciones y reduciendo el riesgo de accidentes (Gálvez & Vásquez, 2019).

En áreas con alta densidad de población y espacio limitado, los pasos a desnivel o los túneles pueden ser la única opción viable para aumentar la capacidad de la intersección y optimizar la fluidez del tráfico (Ceder, 2021). En zonas con características geográficas complejas, como ríos, valles o montañas, los puentes o los túneles son soluciones esenciales para conectar diferentes áreas de la ciudad, superando las barreras naturales y mejorando la conectividad.

En áreas residenciales, las intersecciones a distinto nivel se utilizan con menos frecuencia, debido a su costo elevado y su impacto ambiental (Ceder, 2021). Sin embargo, en puntos específicos con un alto volumen de tráfico que afecta la calidad de vida de los residentes, como la entrada o salida de un barrio residencial con alta densidad poblacional, la construcción de un paso a desnivel puede ser una solución justificada para mejorar la fluidez del tráfico y la seguridad vial. En zonas industriales o comerciales, las intersecciones a distinto nivel son una herramienta eficaz para separar el tráfico de vehículos pesados del tráfico de vehículos ligeros, mejorando la eficiencia del transporte de mercancías, reduciendo la congestión en las áreas residenciales y minimizando el impacto ambiental del tráfico pesado.

La elección del tipo de intersección a distinto nivel más adecuado para cada contexto exige un análisis riguroso de las características del tráfico, las limitaciones del espacio urbano, los objetivos de diseño, los factores económicos y ambientales, y la normativa local (Ceder, 2021). Un estudio de tráfico detallado, que considere el volumen y la composición del tráfico, las velocidades, los patrones de viaje y las proyecciones futuras, es fundamental para determinar la necesidad de una intersección a distinto nivel (Llanos, 2018). Un análisis de las características del entorno urbano, como la densidad poblacional, el uso del suelo, la topografía y la presencia de áreas verdes, permite evaluar el impacto de la intersección en el entorno.

1.6. Niveles de servicio

El Nivel de Servicio (LOS), un concepto central en la ingeniería de tráfico, representa una medida cualitativa que describe el grado de eficiencia de una intersección vial y su impacto en la experiencia de los usuarios (Khan & Ullah, 2019). Este concepto, fundamental para evaluar el desempeño de las intersecciones y tomar decisiones informadas en su diseño y gestión, considera factores clave como la demora, la velocidad, la libertad de movimiento, la interrupción del flujo vehicular, el confort y la seguridad (Pinos, 2016). La evaluación del LOS permite a los ingenieros viales cuantificar la eficiencia de una intersección, identificar áreas problemáticas, priorizar las inversiones en infraestructura vial y optimizar la gestión del tráfico para mejorar la movilidad urbana.

Profundizando en la evaluación del LOS, se han desarrollado diversas metodologías que buscan cuantificar las condiciones de operación de las intersecciones, clasificándolas en diferentes niveles de servicio. El Highway Capacity Manual (HCM), un documento de referencia ampliamente reconocido a nivel internacional, establece una metodología detallada para evaluar el LOS en intersecciones semaforizadas, basada en el análisis de la demora promedio por vehículo (Khan & Ullah, 2019). Esta metodología, descrita en detalle por Llanos (2018), considera una serie de factores que influyen en el flujo vehicular y la experiencia de los usuarios. Entre estos factores se encuentran el volumen de tráfico, la geometría de la intersección, la configuración de las fases semaforicas, la presencia de peatones y ciclistas, y las características de los vehículos que circulan por la intersección (Llanos, 2018). La metodología HCM 2000, además de la demora promedio por vehículo, también considera otros parámetros como la longitud de la cola, el grado de saturación y la velocidad de aproximación.

Complementando la metodología del HCM, existen otros métodos para evaluar el LOS en intersecciones, como el método de Webster y el método de demora percentil, implementados en el software Synchro (Reyna Peña, 2015). Estos métodos, basados en modelos matemáticos que simulan

el flujo vehicular, permiten estimar las demoras y los niveles de servicio con mayor precisión, considerando la variabilidad del tráfico y las interacciones entre vehículos. El método de Webster, un modelo analítico, estima la demora promedio por vehículo en función del tiempo de ciclo, el tiempo de verde efectivo y la relación v/c (volumen/capacidad). El método de demora percentil, un modelo de simulación, estima la demora del percentil 50 de los vehículos, proporcionando una medida más robusta de la experiencia del usuario. La elección de la metodología más adecuada dependerá del tipo de intersección, la disponibilidad de datos, los recursos disponibles y los objetivos del estudio.

En este contexto, la identificación de los factores que influyen en el LOS es esencial para comprender la dinámica del tráfico en las intersecciones y desarrollar estrategias de diseño que optimicen la experiencia del usuario. El volumen de tráfico, uno de los factores más importantes, determina la carga vehicular que la intersección debe manejar (Llanos, 2018). Un alto volumen de tráfico, especialmente en las horas pico, puede generar congestionamiento, aumentar las demoras, reducir la velocidad promedio de los vehículos y, en consecuencia, afectar negativamente el nivel de servicio (Khan & Ullah, 2019). La geometría de la intersección, que incluye la configuración de las vías, los ángulos de intersección, el número de carriles y la presencia de carriles de giro exclusivos, también juega un rol fundamental en el LOS (Khan & Ullah, 2019). Una geometría bien diseñada, que minimice los puntos de conflicto, facilite los movimientos vehiculares y garantice una adecuada visibilidad, contribuye a un flujo de tráfico más fluido y eficiente.

La presencia de semáforos y su correcta configuración son factores determinantes en el nivel de servicio de una intersección (Guerra & Vidal, 2024). Un sistema de semaforización bien diseñado, con tiempos de verde adecuados para cada movimiento y una sincronización eficiente, puede optimizar la fluidez del tráfico, minimizar las demoras y mejorar la seguridad vial (Guerra & Vidal, 2024). Sin embargo, una configuración inadecuada de los semáforos, con tiempos de ciclo demasiado largos o una mala

sincronización, puede generar congestión, aumentar los tiempos de espera y frustrar a los conductores.

Otros factores que influyen en el LOS incluyen la presencia de peatones y ciclistas, que pueden generar conflictos con el tráfico vehicular y aumentar las demoras, la composición del tráfico, con la presencia de vehículos pesados o autobuses que pueden afectar la velocidad y la capacidad de la intersección, y las condiciones del pavimento, ya que un pavimento deteriorado puede obligar a los conductores a reducir la velocidad, aumentando las demoras y afectando la fluidez del tráfico.

La interpretación de los resultados de la evaluación del LOS permite a los ingenieros viales tomar decisiones informadas para mejorar el diseño y la gestión de las intersecciones (Khan & Ullah, 2019). El HCM define seis niveles de servicio, que van desde el nivel A (flujo libre) hasta el nivel F (flujo forzado), cada uno caracterizado por un rango de demoras promedio por vehículo y una descripción cualitativa de las condiciones de operación. (Pinos, 2016). Un nivel de servicio A representa las condiciones ideales de operación, con un flujo vehicular fluido, sin demoras significativas y una alta velocidad (Khan & Ullah, 2019). A medida que el nivel de servicio disminuye, la calidad del flujo vehicular se deteriora, las demoras aumentan y la velocidad promedio se reduce (Khan & Ullah, 2019). Un nivel de servicio F representa las peores condiciones de operación, con congestión, largas colas y una velocidad promedio muy baja. Esta situación puede generar frustración en los conductores, aumentar el consumo de combustible y las emisiones de los vehículos, y afectar la productividad y la calidad de vida.

Los resultados del análisis del LOS se pueden utilizar para identificar las intersecciones con problemas de congestión, evaluar la efectividad de las medidas de control de tráfico (como la señalización, la semaforización o la geometría de la intersección), priorizar las inversiones en infraestructura vial (como la construcción de nuevos carriles, la ampliación de la intersección o la implementación de pasos a desnivel) y diseñar nuevas intersec-

ciones que cumplan con los niveles de servicio deseados (Khan & Ullah, 2019). En la gestión del tráfico, los resultados del LOS son una herramienta valiosa para optimizar los tiempos de semáforo, implementar medidas para mejorar la fluidez vehicular, restringir ciertos movimientos en las horas pico y desarrollar estrategias para promover el uso del transporte público o la bicicleta (Reyna Peña, 2015). La comprensión del concepto de LOS y la correcta interpretación de los resultados son esenciales para la toma de decisiones informadas que mejoren la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad del sistema vial urbano.

La optimización del tiempo de evacuación, destacada en Rodríguez Ventura (2020), es una consideración crucial en el diseño de intersecciones en zonas propensas a desastres naturales. En situaciones de emergencia, el nivel de servicio de la intersección es un factor determinante para la evacuación rápida y segura de la población. Un diseño que facilite un flujo vehicular fluido y minimice las demoras puede salvar vidas (Rodríguez Ventura, 2020). La implementación de medidas como carriles de evacuación exclusivos, la sincronización de semáforos para dar prioridad al tráfico de evacuación y la señalización de rutas de evacuación son estrategias que pueden mejorar el LOS en situaciones de emergencia.

CAPÍTULO II

FLUJO VEHICULAR

2.1. Congestión vehicular

La congestión vehicular, un fenómeno omnipresente en el tejido urbano contemporáneo, se define como la situación en la que la demanda de espacio vial supera la capacidad de la infraestructura existente, manifestándose en la reducción de la velocidad, el aumento de los tiempos de viaje y la proliferación de paradas frecuentes (Chique et al., 2020). Esta problemática, que trasciende la mera incomodidad, se ha convertido en un desafío multidimensional con implicaciones de gran alcance en la economía, el medio ambiente y el tejido social de las ciudades. Más allá de la simple congestión física, este fenómeno afecta la eficiencia del sistema de transporte, la productividad de las empresas, la calidad de vida de los ciudadanos y la sostenibilidad del desarrollo urbano. El estudio realizado por Urbina et al. (2019) en Tacna ilustra cómo la convergencia del aumento del parque automotor y las deficiencias en la infraestructura vial conduce a la saturación de las intersecciones, cuantificando el impacto de la congestión a través de indicadores como el grado de saturación y el nivel de

servicio. Esta investigación, centrada en un caso específico, permite vislumbrar la complejidad de la congestión y la necesidad de abordarla desde una perspectiva multidimensional. La congestión vehicular, al impactar directamente en la movilidad, se convierte en un obstáculo para el acceso a servicios, oportunidades y el desarrollo pleno de las actividades cotidianas, afectando la calidad de vida de los ciudadanos y la dinámica urbana en su conjunto.

Profundizando en las causas de la congestión vehicular, se observa una interrelación de factores que se retroalimentan, creando un ciclo que perpetúa el problema. El crecimiento del parque automotor, impulsado por el desarrollo económico, el aumento del poder adquisitivo y la mayor accesibilidad a los vehículos, es un factor determinante en la saturación de las vías (Urbina et al., 2019). Este aumento de la demanda de movilidad, sin embargo, no siempre se ve acompañado por una mejora proporcional en la infraestructura vial, lo que genera un desequilibrio que se traduce en congestión. A este factor se suma la deficiente infraestructura vial, caracterizada por vías estrechas, falta de mantenimiento, diseño inadecuado de intersecciones y una planificación urbana que no ha logrado anticipar las necesidades de movilidad de una población en constante crecimiento. La concentración de viajes en horas punta, producto de los horarios laborales y escolares, agrava aún más la congestión al concentrar la demanda en periodos específicos del día. La dependencia del automóvil particular, fomentada por la falta de opciones de transporte público eficientes y la percepción de mayor comodidad y libertad, contribuye a la saturación de las vías. En este contexto, la investigación de Picoy Alvarado (2021) en Huánuco revela la influencia de los paraderos informales en la fluidez del tráfico, mostrando cómo la falta de regulación en el transporte público puede ser un factor que agrava la congestión. La problemática de la congestión en Puno, analizada por Chique et al. (2020), ilustra cómo la combinación de estos factores crea un escenario de congestión crónica que afecta negativamente el desarrollo de la ciudad. La congestión vehicular, al ser un fenómeno complejo y multicausal, requiere de un análisis pro-

fundo de cada uno de estos factores para poder implementar soluciones efectivas y sostenibles.

Analizando las consecuencias de la congestión vehicular, se evidencia un impacto negativo en diferentes esferas de la vida urbana, desde la economía hasta el bienestar social de los ciudadanos. La pérdida de productividad, derivada de las horas que los trabajadores pierden en el tráfico, se traduce en un costo económico significativo para las empresas, afectando su competitividad y la economía del país en su conjunto. Este costo se ve agravado por el aumento en los costos de transporte, debido al mayor consumo de combustible, el desgaste de los vehículos y la necesidad de invertir en infraestructura vial. El impacto ambiental de la congestión es igualmente preocupante. El aumento de las emisiones de gases contaminantes, producto de la ralentización del tráfico, las paradas frecuentes y el mayor consumo de combustible, contribuye a la contaminación del aire, el calentamiento global y el deterioro de la calidad ambiental en las ciudades. El ruido generado por el tráfico congestionado afecta la salud y la calidad de vida de los residentes, generando estrés, trastornos del sueño y otros problemas de salud. La congestión vehicular, al afectar la movilidad urbana, limita el acceso a servicios, oportunidades y actividades sociales, reduciendo la calidad de vida de los ciudadanos. El estudio de Urbina et al. (2019) en Tacna evidencia cómo la congestión, al generar demoras significativas, reduce el nivel de servicio de las vías e impacta negativamente la experiencia de los usuarios. La investigación de Chique et al. (2020) en Puno, por su parte, muestra cómo la congestión vehicular se entrelaza con otras problemáticas urbanas, como la informalidad en el transporte, la deficiente señalización y la falta de planificación, creando un círculo vicioso que afecta el desarrollo de la ciudad. La congestión vehicular, al tener consecuencias tan diversas y de gran alcance, requiere de un abordaje integral que considere no solo los aspectos económicos y de movilidad, sino también el impacto ambiental, social y en la salud de la población.

Profundizando en el análisis del flujo vehicular, es crucial considerar las variables que lo definen y cómo se ven afectadas por la congestión. El vo-

lumen de tráfico, que representa la cantidad de vehículos que circulan por una vía en un periodo determinado, es un indicador clave para evaluar la capacidad de la infraestructura vial y detectar puntos críticos de congestión. La velocidad del tráfico, que se ve reducida significativamente en situaciones de congestión, es un factor determinante en los tiempos de viaje y la eficiencia del transporte. La densidad del tráfico, que representa la concentración de vehículos en un tramo de vía, es un indicador de la fluidez de la circulación y la probabilidad de congestión. Picoy Alvarado (2021), en su investigación sobre el flujo vehicular en Huánuco, analiza estas variables en un contexto real, mostrando cómo la congestión, al reducir la velocidad y aumentar la densidad, impacta negativamente el nivel de servicio de la vía. Es fundamental comprender que estas variables no son independientes, sino que interactúan entre sí: un aumento en el volumen de tráfico puede llevar a una reducción de la velocidad y un aumento de la densidad, generando congestión. La congestión vehicular, al afectar la dinámica de estas variables, impacta la eficiencia del sistema de transporte, la productividad de las empresas, el medio ambiente y la calidad de vida de los ciudadanos. Un análisis detallado del flujo vehicular, considerando estas variables y sus interrelaciones, es esencial para comprender la complejidad de la congestión y diseñar estrategias para su mitigación.

Abordando la planificación urbana y la gestión del transporte, se observa que estos son elementos clave para prevenir y mitigar la congestión vehicular. Una planificación urbana que anticipe las necesidades de movilidad de una población en crecimiento, considerando la expansión urbana, los patrones de desplazamiento de los ciudadanos y la interrelación entre los diferentes usos del suelo, es esencial para un sistema de transporte eficiente. La gestión del transporte debe implementar estrategias para optimizar el flujo vehicular, como la mejora de la infraestructura vial, el diseño adecuado de intersecciones, la sincronización de semáforos, la regulación del estacionamiento y la promoción de modos de transporte sostenibles. La falta de coordinación entre la planificación urbana y la gestión del transporte puede llevar a una infraestructura vial insuficiente o inadecuada para atender la demanda de movilidad, agravando la con-

gestión. La investigación de Picoy Alvarado (2021) en Huánuco destaca la importancia de la semaforización y la regulación del tráfico para mejorar la fluidez vehicular, mientras que Chique et al. (2020), en su análisis del sistema de transporte en Puno, subrayan la necesidad de una planificación integral que considere la infraestructura, la demanda y los diferentes modos de transporte. La congestión vehicular, al ser un problema sistémico, requiere de una visión integral que abarque la planificación urbana, la gestión del transporte y la participación ciudadana para lograr soluciones efectivas y sostenibles.

La promoción de modos de transporte sostenibles, como el transporte público, la bicicleta y la caminata, es fundamental para reducir la dependencia del automóvil particular, uno de los principales factores que contribuyen a la congestión vehicular. La inversión en infraestructura para el transporte público, como carriles exclusivos para autobuses, sistemas de transporte masivo (BRT, metro) y la mejora de la calidad del servicio, puede hacer que el transporte público sea más atractivo y eficiente, incentivando su uso y reduciendo la cantidad de vehículos particulares en las vías. La creación de ciclovías seguras y conectadas, así como la promoción de la caminata a través de la mejora de las aceras y la creación de espacios peatonales, puede ofrecer alternativas de movilidad saludables y sostenibles para distancias cortas, reduciendo la presión sobre la infraestructura vial. La implementación de políticas que desincentiven el uso del automóvil particular, como la restricción del tráfico en zonas céntricas, la implementación de peajes urbanos, el aumento de los costos de estacionamiento y la promoción del teletrabajo, puede contribuir a un cambio modal hacia opciones más sostenibles. La congestión vehicular, al estar estrechamente ligada a la cultura del automóvil, requiere de un cambio de paradigma hacia una movilidad más sostenible que priorice el transporte público, la bicicleta y la caminata, creando ciudades más habitables, saludables y respetuosas con el medio ambiente.

La educación vial y la concientización ciudadana son pilares fundamentales para crear una cultura de respeto a las normas de tránsito y fomentar una conducción responsable, contribuyendo a la mejora del flujo vehicular y la seguridad vial. Campañas educativas que promuevan la conducción responsable, el respeto a los límites de velocidad, el uso adecuado de las vías, la importancia de la señalización y el respeto a los peatones y ciclistas pueden generar un cambio positivo en los hábitos de conducción, mejorando la fluidez del tráfico y reduciendo la incidencia de accidentes. La concientización ciudadana sobre el impacto negativo de la congestión, tanto a nivel individual como colectivo, en la economía, el medio ambiente y la calidad de vida, puede fomentar una mayor corresponsabilidad en la búsqueda de soluciones y el apoyo a las políticas públicas que promuevan una movilidad más sostenible. La congestión vehicular, al ser un problema que afecta a toda la sociedad, requiere de un compromiso colectivo para su solución, basado en la educación, la concientización y la participación ciudadana. La adopción de hábitos de conducción responsables, el uso de modos de transporte sostenibles y el respeto a las normas de tránsito son elementos clave para construir una cultura vial que contribuya a la mejora del flujo vehicular y la creación de ciudades más seguras y habitables.

La tecnología se ha convertido en una herramienta indispensable para la gestión del tráfico y la mitigación de la congestión vehicular, ofreciendo soluciones innovadoras que permiten una gestión más eficiente y adaptativa de la movilidad urbana. La implementación de sistemas inteligentes de transporte (SIT), como semáforos adaptativos que ajustan los tiempos de verde y rojo en función del flujo vehicular en tiempo real, sistemas de control de tráfico centralizado, sensores de detección de vehículos y sistemas de información al viajero, puede optimizar la fluidez del tráfico, reducir las demoras y mejorar la gestión de la red vial. El uso de aplicaciones móviles que brindan información en tiempo real sobre las condiciones del tráfico, rutas alternativas, tiempos de viaje, disponibilidad de transporte público y opciones de estacionamiento, empodera a los ciudadanos y les permite tomar decisiones informadas para planificar sus desplazamientos

y evitar zonas congestionadas. La tecnología también juega un papel crucial en la gestión del transporte público, permitiendo la optimización de rutas, frecuencias y la capacidad de los vehículos en función de la demanda, mejorando la eficiencia del servicio y su atractivo para los usuarios. La congestión vehicular, al ser un problema dinámico que requiere de soluciones flexibles y adaptativas, se beneficia enormemente de la incorporación de la tecnología en la gestión del tráfico y la planificación de la movilidad urbana, creando ciudades más inteligentes, eficientes y sostenibles.

En síntesis, la congestión vehicular, un problema complejo y multifacético, demanda un enfoque integral que considere sus diversas causas y consecuencias, implementando soluciones que promuevan una movilidad urbana más sostenible y eficiente. El crecimiento del parque automotor, la deficiente infraestructura vial, la mala planificación urbana, los patrones de movilidad y la falta de regulación del tránsito se entrelazan para crear un ciclo que perpetúa la congestión, con consecuencias negativas para la economía, el medio ambiente, la sociedad y la calidad de vida de los ciudadanos. La planificación urbana, la gestión del transporte, la promoción de modos de transporte sostenibles, la educación vial, la concientización ciudadana y la tecnología son piezas clave para abordar este desafío. La congestión vehicular, como lo muestran los estudios de Urbina et al. (2019), Chique et al. (2020) y Picoy Alvarado (2021), no es un problema inevitable, sino un reto que puede ser superado mediante la combinación de estrategias, políticas públicas, inversión en infraestructura y la participación activa de la ciudadanía, construyendo ciudades más habitables, resilientes y sostenibles. La congestión vehicular, en definitiva, nos invita a repensar el modelo de desarrollo urbano y a transitar hacia una movilidad más humana, responsable y respetuosa con el entorno.

2.2. Sistema vial urbano de transporte en el Perú

El sistema vial urbano de transporte en el Perú, un componente crucial de la infraestructura del país, enfrenta numerosos desafíos que impactan directamente en la movilidad y la calidad de vida de los ciudadanos.

Caracterizado por una heterogeneidad marcada, este sistema presenta una estructura y organización que varían significativamente entre las diferentes ciudades, reflejando las particularidades geográficas, económicas y sociales de cada región (Chique et al., 2020). Desde las grandes metrópolis como Lima hasta las pequeñas ciudades del interior del país, el sistema vial urbano se enfrenta a problemas comunes, como la congestión vehicular, la deficiente infraestructura, la informalidad en el transporte y la falta de planificación integral. La investigación de Picoy Alvarado (2021) en Huánuco, por ejemplo, revela la precariedad de la infraestructura vial en algunas zonas de la ciudad, con calles angostas, falta de señalización y paraderos informales que obstaculizan la fluidez del tráfico. Estos problemas, que se replican en diversas ciudades del país, evidencian la necesidad de una mayor inversión en infraestructura y una gestión más eficiente del sistema vial urbano. La falta de una planificación integral del transporte, que considere las necesidades de movilidad de la población y la interrelación entre los diferentes modos de transporte, agrava aún más la problemática del sistema vial urbano.

La rápida urbanización experimentada por el Perú en las últimas décadas ha generado una creciente demanda de movilidad en las ciudades, ejerciendo una presión constante sobre el sistema vial urbano. El crecimiento poblacional, la expansión urbana y el aumento del parque automotor han superado la capacidad de la infraestructura vial existente, resultando en congestión vehicular, demoras en los tiempos de viaje y un deterioro de la calidad de vida de los ciudadanos. La heterogeneidad de las ciudades peruanas, con diferentes niveles de desarrollo económico y social, se refleja en la calidad y la capacidad de la infraestructura vial, creando desigualdades en el acceso a la movilidad y a las oportunidades. Las limitaciones presupuestarias, por su parte, dificultan la inversión en infraestructura vial y la implementación de políticas públicas para mejorar la gestión del transporte urbano. El estudio realizado por Urbina et al. (2019) en Tacna muestra cómo el crecimiento del parque automotor, sin una mejora proporcional en la infraestructura vial, genera congestión y reduce el nivel de servicio en las intersecciones. La falta de inversión en infraestructura,

agravada por las limitaciones presupuestarias, perpetúa un ciclo de deficiencias en el sistema vial urbano que impacta negativamente en la movilidad y el desarrollo de las ciudades.

La normativa vigente relacionada con la planificación y gestión del transporte urbano en el Perú busca establecer un marco regulatorio para el desarrollo de un sistema de transporte eficiente y sostenible. El Plan Nacional de Seguridad Vial, como lo menciona Sagástegui (2010), establece lineamientos y estrategias para la mejora de la seguridad vial, la reducción de accidentes de tránsito y la promoción de una movilidad segura. Sin embargo, la falta de aplicación efectiva de este plan por parte de los gobiernos regionales y locales, debido a la falta de recursos, la debilidad institucional y la falta de coordinación entre los diferentes niveles de gobierno, limita su impacto en la mejora del sistema vial urbano. La normativa también contempla la necesidad de una planificación integral del transporte, considerando la intermodalidad, la accesibilidad universal y la sostenibilidad ambiental. No obstante, la complejidad del sistema vial urbano, la heterogeneidad de las ciudades y las limitaciones presupuestarias dificultan la implementación de estas políticas y la creación de un sistema de transporte eficiente y equitativo. La informalidad en el transporte, como la describe Chique et al. (2020) en su análisis del sistema de transporte en Puno, representa un desafío adicional para la gestión del sistema vial urbano, ya que dificulta la regulación, la fiscalización y la planificación del transporte.

La congestión vehicular, como se ha mencionado previamente, es una de las principales consecuencias de las deficiencias del sistema vial urbano en el Perú. La saturación de las vías, producto del crecimiento del parque automotor, la insuficiente capacidad de la infraestructura vial, la mala planificación urbana y los patrones de movilidad concentrados en horas punta, genera demoras significativas en los tiempos de viaje, pérdida de productividad, aumento de los costos de transporte y un deterioro de la calidad de vida de los ciudadanos. La investigación de Picoy Alvarado (2021) en Huánuco, al analizar el flujo vehicular en una vía urbana, muestra cómo la congestión, al reducir la velocidad y aumentar la densidad del

tráfico, impacta negativamente en el nivel de servicio de la vía. La falta de semáforos inteligentes y la presencia de paraderos informales agravan aún más la congestión, evidenciando la necesidad de una gestión más eficiente del tránsito urbano. La congestión vehicular, además de sus consecuencias directas en la movilidad, tiene un impacto negativo en la economía, el medio ambiente y la sociedad, generando pérdidas económicas, contaminación ambiental, estrés y una reducción de la calidad de vida de los ciudadanos.

La falta de inversión en infraestructura vial, agravada por las limitaciones presupuestarias que enfrentan los gobiernos locales y regionales, es un factor clave en el deterioro del sistema vial urbano en el Perú. La insuficiente capacidad de las vías, la falta de mantenimiento, el diseño inadecuado de intersecciones y la escasa señalización contribuyen a la congestión vehicular, los accidentes de tránsito y la ineficiencia del sistema de transporte. La inversión en infraestructura vial no solo implica la construcción de nuevas vías, sino también la mejora de las existentes, la implementación de tecnologías para la gestión del tráfico, la creación de ciclovías y la mejora de la infraestructura peatonal. La congestión vehicular, al ser una de las principales consecuencias de la deficiente infraestructura vial, requiere de una mayor inversión en este sector para mejorar la fluidez del tráfico, la seguridad vial y la calidad de vida de los ciudadanos. La investigación de Urbina et al. (2019) en Tacna muestra cómo la optimización del flujo vehicular en las intersecciones, mediante la mejora de la infraestructura y la gestión del tráfico, puede contribuir a la reducción de la congestión y la mejora del nivel de servicio.

La informalidad en el transporte, un fenómeno presente en muchas ciudades del Perú, representa un desafío adicional para la gestión del sistema vial urbano. La proliferación de vehículos informales, que operan sin las autorizaciones correspondientes y sin cumplir con las normas de tránsito, genera congestión, inseguridad vial y una competencia desleal con el transporte formal. La falta de regulación y fiscalización del transporte informal dificulta la planificación del transporte, la optimización de rutas

y la implementación de políticas públicas para mejorar la movilidad urbana. El estudio de Chique et al. (2020) en Puno describe la problemática del transporte informal en la ciudad, mostrando cómo la falta de regulación y la competencia desleal afectan la calidad del servicio de transporte y contribuyen a la congestión vehicular. La informalidad en el transporte, al ser un reflejo de la debilidad institucional y la falta de control por parte de las autoridades, requiere de un enfoque integral que aborde las causas de este fenómeno, como la falta de oportunidades en el mercado laboral formal, la deficiente regulación del transporte y la falta de concientización ciudadana.

La gestión del tráfico urbano en el Perú se enfrenta a diversos desafíos, como la falta de sincronización de semáforos, la presencia de paraderos informales y la insuficiente señalización vial. La falta de sincronización de los semáforos, que genera paradas innecesarias y ralentiza el flujo vehicular, es un problema frecuente en muchas ciudades del país, contribuyendo a la congestión y al aumento de los tiempos de viaje. La presencia de paraderos informales, que obstaculizan la circulación vehicular y generan desorden en el tránsito, es otro factor que agrava la congestión. La insuficiente señalización vial, que dificulta la orientación de los conductores y peatones, aumenta el riesgo de accidentes de tránsito y reduce la eficiencia del sistema de transporte. La gestión del tráfico urbano en el Perú requiere de una mayor inversión en tecnología, como semáforos inteligentes, sistemas de control de tráfico centralizado y aplicaciones móviles que brinden información en tiempo real sobre las condiciones del tráfico, para optimizar la fluidez vehicular y mejorar la seguridad vial. La investigación de Picoy Alvarado (2021) en Huánuco destaca la importancia de la semaforización inteligente y la regulación del tráfico para mejorar la fluidez vehicular y el nivel de servicio en las vías urbanas.

La seguridad vial en el Perú, un tema crucial para la calidad de vida de los ciudadanos, se ve afectada por diversos factores, como la deficiente infraestructura vial, la falta de educación vial, la conducción imprudente y el incumplimiento de las normas de tránsito. El artículo de Sagástegui

(2010) aborda la problemática de la seguridad vial en el país, señalando la necesidad de fortalecer el Consejo Nacional de Seguridad Vial y promover la aplicación del Plan Nacional de Seguridad Vial.

La falta de una cultura vial, que se manifiesta en la conducción imprudente, el exceso de velocidad, el consumo de alcohol al volante y el incumplimiento de las normas de tránsito, es un factor clave en la alta tasa de accidentes de tránsito en el Perú. La inversión en educación vial, la implementación de campañas de concientización ciudadana y la aplicación efectiva de las normas de tránsito son esenciales para mejorar la seguridad vial y reducir la cantidad de accidentes. La seguridad vial, como un componente esencial de un sistema de transporte eficiente y sostenible, requiere de un enfoque integral que abarque la infraestructura, la educación, la regulación y la fiscalización.

2.3. Sistema de transporte en el Perú

El sistema de transporte en el Perú, un entramado complejo y heterogéneo de infraestructuras y modos de transporte, juega un papel fundamental en el desarrollo económico y social del país. Más allá del ámbito urbano, el sistema de transporte peruano abarca una red interurbana que conecta las diferentes regiones del país, facilitando la movilidad de personas y mercancías, así como el acceso a servicios y oportunidades (Chique et al., 2020). La interrelación entre los diferentes modos de transporte –carretera, ferrocarril, aéreo y fluvial– es crucial para la eficiencia y la competitividad del sistema, permitiendo la articulación de las diferentes regiones y la integración del país al mercado global. Sin embargo, el sistema de transporte peruano enfrenta importantes desafíos, como la deficiente infraestructura en algunas zonas del país, la falta de integración entre los diferentes modos de transporte, la informalidad en el sector y la necesidad de una mayor inversión para modernizar y ampliar la capacidad del sistema. La planificación del transporte a nivel nacional, considerando una visión integral que articule los diferentes modos de transporte y promueva la conectividad entre las regiones, es esencial para impulsar el

desarrollo sostenible del país. La problemática de la congestión vehicular en las ciudades, como se ha visto en la sección anterior, se agrava por la falta de un sistema de transporte interurbano eficiente que permita descongestionar las vías urbanas y ofrecer alternativas de movilidad para los ciudadanos.

Profundizando en la interrelación entre los diferentes modos de transporte, se observa una complementariedad y, a la vez, una competencia entre ellos. El transporte por carretera, el modo predominante en el Perú, juega un papel crucial en la movilidad de personas y mercancías, conectando las diferentes regiones del país. Sin embargo, la deficiente infraestructura vial en algunas zonas, especialmente en las áreas rurales y de difícil acceso, limita la eficiencia y la seguridad del transporte por carretera. El transporte ferroviario, con un potencial significativo para el transporte de carga y pasajeros, se encuentra subutilizado en el Perú, debido a la falta de inversión en la modernización y ampliación de la red ferroviaria. El transporte aéreo, fundamental para la conectividad entre las regiones más alejadas del país, se enfrenta al desafío de mejorar la infraestructura aeroportuaria y reducir los costos para hacerlo más accesible a la población. El transporte fluvial, un modo de transporte tradicional en la Amazonía peruana, juega un papel importante en la conectividad de las comunidades ribereñas, pero enfrenta desafíos en cuanto a la infraestructura, la seguridad y la eficiencia del servicio. La planificación del transporte a nivel nacional debe considerar la complementariedad entre estos modos de transporte, optimizando su uso para maximizar la eficiencia y la conectividad del sistema. La propuesta de Chique et al. (2020) de terminales zonales para el transporte interprovincial en Puno, por ejemplo, busca mejorar la interrelación entre el transporte urbano e interurbano, facilitando la movilidad de los pasajeros y descongestionando las vías urbanas.

La planificación del transporte a nivel nacional es crucial para el desarrollo de un sistema de transporte eficiente, integrado y sostenible en el Perú. Esta planificación debe considerar las necesidades de movilidad de la población, la interrelación entre los diferentes modos de transporte,

la conectividad entre las regiones, la accesibilidad universal, la seguridad vial, la protección del medio ambiente y la eficiencia económica. La Organización de las Naciones Unidas (2022), en sus objetivos de desarrollo sostenible, destaca la importancia del transporte sostenible para el desarrollo económico y social de los países, promoviendo la inversión en infraestructura, la innovación tecnológica y la adopción de políticas públicas que fomenten la movilidad sostenible. En el Perú, la planificación del transporte a nivel nacional debe considerar las particularidades del contexto peruano, como la geografía diversa, la rápida urbanización, la heterogeneidad de las ciudades y las limitaciones presupuestarias. La falta de una planificación integral del transporte, que articule los diferentes modos de transporte y promueva la conectividad entre las regiones, dificulta el desarrollo económico y social del país, limitando el acceso a servicios, oportunidades y la integración del país al mercado global.

Las políticas públicas para mejorar la conectividad en el Perú juegan un papel fundamental en la integración del país y el desarrollo de un sistema de transporte eficiente. Estas políticas deben promover la inversión en infraestructura vial, ferroviaria, aeroportuaria y fluvial, la modernización de los modos de transporte, la integración entre los diferentes sistemas de transporte, la simplificación de los trámites y regulaciones para el transporte de mercancías y la promoción de la innovación tecnológica en el sector. La mejora de la conectividad, al reducir los costos y los tiempos de transporte, facilita el comercio, el turismo, el acceso a servicios y oportunidades, y la integración de las regiones más alejadas del país al mercado nacional e internacional. La congestión vehicular en las ciudades, como se ha visto en la sección anterior, se agrava por la falta de conectividad entre las diferentes zonas urbanas y la dependencia del automóvil particular. La inversión en transporte público, la creación de ciclovías y la mejora de la infraestructura peatonal, como parte de las políticas públicas para mejorar la conectividad, pueden ofrecer alternativas de movilidad sostenibles y reducir la presión sobre la infraestructura vial urbana.

La contribución del sistema de transporte a la movilidad de personas y mercancías es esencial para el desarrollo económico y social del Perú. Un sistema de transporte eficiente facilita el comercio, el turismo, el acceso a servicios básicos, la educación, la salud y la integración de las diferentes regiones del país. La movilidad de personas, que permite a los ciudadanos desplazarse entre diferentes zonas urbanas e interurbanas, es crucial para el acceso a oportunidades laborales, educativas, de salud y de recreación, mejorando la calidad de vida de la población. La movilidad de mercancías, por su parte, es fundamental para el abastecimiento de bienes y productos a las diferentes regiones del país, impulsando el comercio y la actividad económica. La deficiente infraestructura vial, la falta de integración entre los modos de transporte, la congestión vehicular y la informalidad en el sector, como se ha visto en las secciones anteriores, limitan la eficiencia del sistema de transporte y su contribución a la movilidad de personas y mercancías, afectando el desarrollo del país. La propuesta de Chique et al. (2020) de terminales zonales en Puno, por ejemplo, busca mejorar la movilidad de pasajeros al facilitar la conexión entre el transporte interprovincial y el transporte urbano, reduciendo los tiempos de viaje y la congestión en las vías urbanas.

La importancia de una visión integral del transporte para abordar la problemática de la congestión vehicular en el Perú es fundamental para el desarrollo de un sistema de transporte eficiente y sostenible. Esta visión integral debe considerar la interrelación entre los diferentes modos de transporte, la planificación urbana, la gestión del tráfico, la promoción de modos de transporte sostenibles, la educación vial y la concientización ciudadana. La congestión vehicular, como se ha visto en la sección anterior, no es solo un problema de las grandes ciudades, sino que también afecta a las ciudades intermedias y pequeñas, impactando la movilidad, la economía, el medio ambiente y la calidad de vida de los ciudadanos. La falta de una visión integral del transporte, que considere las necesidades de movilidad de la población en su conjunto, tanto urbana como interurbana, perpetúa un modelo de desarrollo urbano insostenible basado en la dependencia del automóvil particular. La inversión en transporte pú-

blico, la creación de ciclovías, la mejora de la infraestructura peatonal, la implementación de sistemas inteligentes de transporte, la educación vial y la concientización ciudadana, como parte de una visión integral del transporte, pueden contribuir a la reducción de la congestión vehicular, la mejora de la seguridad vial, la protección del medio ambiente y el desarrollo de ciudades más sostenibles.

El sistema de transporte en el Perú, como un elemento clave para el desarrollo económico y social del país, requiere de una transformación profunda para superar los desafíos que enfrenta y garantizar una movilidad eficiente, segura y sostenible para todos los ciudadanos. La inversión en infraestructura, la modernización de los modos de transporte, la integración entre los diferentes sistemas de transporte, la formalización del sector, la planificación integral del transporte, la implementación de políticas públicas que promuevan la conectividad y la participación ciudadana son elementos esenciales para la construcción de un sistema de transporte que impulse el desarrollo del país. La congestión vehicular, la informalidad en el transporte y la deficiente infraestructura, como se ha visto en las secciones anteriores, son problemas que afectan la eficiencia del sistema de transporte y limitan su contribución a la movilidad de personas y mercancías. La investigación de Chique et al. (2020), al analizar la problemática del transporte urbano en Puno, destaca la importancia de la planificación, la gestión, la inversión en infraestructura y la interrelación entre los diferentes modos de transporte para el desarrollo de un sistema de transporte eficiente. El sistema de transporte en el Perú, como un reflejo del modelo de desarrollo del país, requiere de una transformación que priorice la sostenibilidad, la equidad y la calidad de vida de los ciudadanos.

2.4. SYNCHRO TRAFFIC 8.0 para la optimización del flujo vehicular

Synchro Traffic 8.0, un software especializado en la optimización del flujo vehicular desarrollado por Transoft Solutions, se presenta como una herramienta poderosa para el análisis, diseño y gestión del tráfico en intersecciones viales. Su capacidad para simular y evaluar diferentes esce-

narios de tráfico, considerando variables como el volumen, la velocidad, la densidad y los tiempos de ciclo de los semáforos, permite a los ingenieros y planificadores de transporte optimizar el rendimiento de las intersecciones, reducir la congestión vehicular y mejorar la seguridad vial. La investigación de Huaman (2021) destaca la utilidad de Synchro para el ordenamiento del transporte diario, demostrando su capacidad para modelar y simular el flujo vehicular en un contexto real. La aplicación de Synchro en el análisis y diseño de intersecciones permite evaluar el impacto de diferentes estrategias de gestión del tráfico, como la sincronización de semáforos, la modificación de la geometría de las intersecciones y la implementación de carriles exclusivos para el transporte público. El software, al proporcionar una plataforma para la simulación y evaluación de diferentes escenarios, se convierte en una herramienta esencial para la toma de decisiones informadas en la planificación y gestión del transporte urbano. Su capacidad para modelar el comportamiento del tráfico en intersecciones, considerando las interacciones entre los diferentes tipos de vehículos, los peatones y los ciclistas, permite un análisis integral y preciso del flujo vehicular.

A través de la modelización y simulación, Synchro Traffic 8.0 ofrece a los usuarios la posibilidad de analizar el comportamiento del tráfico bajo diferentes condiciones y evaluar el impacto de las modificaciones propuestas en el sistema vial. Urbina et al. (2019) utilizaron Synchro para analizar el flujo vehicular en una intersección vial en Tacna, demostrando su capacidad para determinar el grado de saturación y el nivel de servicio de la vía. Esta información, obtenida a través de la simulación, permite identificar los puntos críticos de congestión y evaluar la efectividad de las estrategias de optimización propuestas. Synchro, al proporcionar una representación visual del flujo vehicular, facilita la comprensión de la dinámica del tráfico y la identificación de las áreas que requieren mejoras en la infraestructura o en la gestión del tránsito. El software permite modelar diferentes tipos de intersecciones, desde intersecciones semaforizadas hasta rotondas e intersecciones a desnivel, lo que lo convierte en una herramienta versátil para el análisis y diseño de una amplia gama de escenarios de tráfico. La

capacidad de Synchro para integrar datos de campo, como conteos vehiculares, tiempos de ciclo de semáforos y características geométricas de las vías, permite una modelización precisa y ajustada a la realidad.

Las principales funcionalidades de Synchro Traffic 8.0 incluyen la modelización de la red vial, la simulación del tráfico, el análisis de la capacidad y el nivel de servicio, la optimización de la señalización semafórica y la evaluación de diferentes escenarios de gestión del tráfico. La modelización de la red vial permite representar la geometría de las intersecciones, incluyendo el número de carriles, el tipo de movimiento permitido en cada carril, la presencia de carriles exclusivos para el transporte público y las características geométricas de las vías. La simulación del tráfico permite recrear el comportamiento del flujo vehicular, considerando las interacciones entre los diferentes tipos de vehículos, los peatones y los ciclistas. El análisis de la capacidad y el nivel de servicio permite evaluar el rendimiento de las intersecciones, identificando los puntos críticos de congestión y las áreas que requieren mejoras. La optimización de la señalización semafórica permite ajustar los tiempos de ciclo de los semáforos para maximizar la fluidez del tráfico y reducir las demoras. La evaluación de diferentes escenarios de gestión del tráfico permite comparar la efectividad de diferentes estrategias de optimización, como la sincronización de semáforos, la modificación de la geometría de las intersecciones y la implementación de carriles exclusivos para el transporte público. Huaman (2021), en su tesis sobre la optimización del flujo vehicular utilizando Synchro, describe detalladamente la aplicación de estas funcionalidades en un caso de estudio, mostrando cómo el software puede ser utilizado para mejorar la eficiencia del transporte urbano.

La elección de Synchro Traffic 8.0 para la evaluación del nivel de servicio en el Capítulo III de esta investigación se justifica por su capacidad para modelar y simular el flujo vehicular en intersecciones, considerando las particularidades del contexto peruano. El software permite integrar datos de campo, como conteos vehiculares, tiempos de ciclo de semáforos y características geométricas de las vías, lo que permite una modelización

precisa y ajustada a la realidad. Además, Synchro ofrece una plataforma para la simulación y evaluación de diferentes escenarios de gestión del tráfico, lo que facilita la toma de decisiones informadas en la planificación y optimización del sistema vial. La capacidad de Synchro para analizar el nivel de servicio de las intersecciones, utilizando metodologías reconocidas internacionalmente, como el Highway Capacity Manual (HCM), proporciona una base sólida para la evaluación del rendimiento del sistema vial. La investigación de Urbina et al. (2019) en Tacna, que utiliza Synchro para analizar el flujo vehicular en una intersección, demuestra la aplicabilidad del software en el contexto peruano y su capacidad para generar información relevante para la toma de decisiones en la gestión del tráfico. La tesis de Huaman (2021), al centrarse en la optimización del flujo vehicular utilizando Synchro, proporciona una base metodológica y práctica para la aplicación del software en la presente investigación.

Las ventajas de utilizar Synchro Traffic 8.0 en comparación con otras herramientas disponibles para la optimización del flujo vehicular incluyen su capacidad para modelar intersecciones complejas, su interfaz intuitiva, su capacidad para integrar datos de campo, su capacidad para generar informes detallados y su amplio uso en la industria del transporte. Synchro permite modelar intersecciones con múltiples carriles, diferentes tipos de movimiento permitido en cada carril y la presencia de carriles exclusivos para el transporte público, lo que lo hace adecuado para el análisis de intersecciones complejas en entornos urbanos. Su interfaz intuitiva facilita el uso del software, incluso para usuarios sin experiencia previa en modelización de tráfico. La capacidad de Synchro para integrar datos de campo, como conteos vehiculares, tiempos de ciclo de semáforos y características geométricas de las vías, permite una modelización precisa y ajustada a la realidad. El software genera informes detallados que incluyen información sobre el volumen, la velocidad, la densidad, las demoras, el nivel de servicio y las emisiones de contaminantes, lo que facilita la evaluación del rendimiento del sistema vial y la toma de decisiones informadas. El amplio uso de Synchro en la industria del transporte, tanto a nivel nacional como internacional, garantiza la disponibilidad de soporte técnico, recur-

sos de aprendizaje y una comunidad de usuarios que pueden compartir experiencias y conocimientos.

Synchro Traffic 8.0, al ser una herramienta avanzada para la modelización y simulación del flujo vehicular, sirve como puente entre la teoría y la práctica en la ingeniería de transporte. El software permite aplicar los conceptos teóricos de la ingeniería de tráfico, como la capacidad, el nivel de servicio, la densidad del tráfico y la optimización de semáforos, a situaciones reales, lo que facilita la comprensión de la dinámica del tráfico y la evaluación del impacto de las diferentes estrategias de gestión del tránsito. La capacidad de Synchro para simular y evaluar diferentes escenarios, considerando variables como el volumen, la velocidad, la densidad y los tiempos de ciclo de los semáforos, permite a los ingenieros de transporte poner a prueba diferentes soluciones y optimizar el rendimiento del sistema vial. La investigación de Urbina et al. (2019) en Tacna y la tesis de Huaman (2021) demuestran la utilidad de Synchro como herramienta para la optimización del flujo vehicular en un contexto real, mostrando cómo el software puede ser utilizado para conectar la teoría con la práctica en la ingeniería de transporte. Synchro, al proporcionar una plataforma para la simulación y el análisis, prepara el terreno para el análisis específico que se realizará en el Capítulo III de esta investigación, permitiendo una evaluación detallada del nivel de servicio en las intersecciones viales y la propuesta de soluciones para la optimización del flujo vehicular.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO EN FLUJOS VEHICULARES DE LAS INTERSECCIONES DE LA AV. JORGE BASADRE GROHMANN, UTILIZANDO SYNCHRO V.8 – TACNA, 2018

3.1. Introducción

La ciudad de Tacna, ubicada en el extremo sur del Perú, ha experimentado en las últimas décadas un crecimiento demográfico y económico considerable, lo que ha impactado directamente en su sistema vial urbano. Este crecimiento, acompañado de un aumento del parque automotor, ha generado una mayor demanda de movilidad, provocando congestión vehicular, especialmente en las vías principales y arteriales de la ciudad. La Avenida Jorge Basadre Grohmann, una de las principales arterias de Tacna, es un claro ejemplo de esta problemática. Esta avenida, que conecta el centro de la ciudad con la zona industrial y la frontera con Chile, experimenta un alto volumen de tráfico, especialmente en las horas pico, lo que genera congestionamientos, demoras y un deterioro en la calidad del servicio (Paucara, 2018).

Este problema no solo afecta la movilidad de los ciudadanos, sino que también tiene un impacto negativo en la economía local, la calidad del

aire y el medio ambiente. La congestión vehicular en la Av. Jorge Basadre Grohmann se debe a una serie de factores, incluyendo el diseño de las intersecciones, la configuración de las fases semafóricas, la falta de sincronización entre los semáforos, la presencia de transporte público informal y la falta de alternativas viales. La investigación de Paucara (2018) se centra en la evaluación del nivel de servicio en las intersecciones de esta avenida, utilizando el software Synchro V.8 para analizar el flujo vehicular y proponer soluciones.

La investigación de Paucara (2018) tuvo como objetivos específicos: identificar el nivel de servicio vehicular que se presta en la Av. Jorge Basadre Grohmann, determinar las intersecciones con mayor flujo vehicular y analizar su comportamiento, y simular el comportamiento del flujo vehicular mediante el software Synchro 8 para optimizar el diseño de la geometría actual y adaptarlo a los volúmenes del futuro. Estos objetivos, articulados entre sí, buscan comprender la dinámica del tráfico en la avenida y proponer soluciones para mejorar la calidad del servicio. La identificación del nivel de servicio vehicular permite cuantificar la eficiencia de las intersecciones y su impacto en la experiencia de los usuarios, lo que sirve como base para la toma de decisiones. La determinación de las intersecciones más críticas permite priorizar las inversiones en infraestructura y las medidas de gestión del tráfico. El análisis del comportamiento del flujo vehicular, usando el software Synchro 8, permite evaluar diferentes escenarios y proponer soluciones optimizadas para mejorar la fluidez del tráfico.

La relevancia de la investigación de Paucara (2018) se justifica por su aporte al conocimiento sobre la gestión del tráfico en Tacna, una ciudad con un crecimiento demográfico y económico acelerado que presenta desafíos significativos en su sistema vial urbano. Los resultados de esta investigación son de gran utilidad para la toma de decisiones en la planificación y el diseño vial, permitiendo a las autoridades locales implementar medidas para mejorar la fluidez del tráfico, reducir la congestión y los tiempos de viaje, y aumentar la seguridad vial. La investigación también contribuye

a la formación de profesionales en el área de la ingeniería de transporte, proporcionando información valiosa sobre metodologías de análisis del tráfico y el uso de herramientas de simulación para la optimización del diseño vial.

Finalmente, el objetivo general de la investigación de Paucara (2018) fue evaluar el nivel de servicio en los flujos vehiculares de las intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann, utilizando el software Synchro V.8. Este objetivo, que engloba los objetivos específicos previamente mencionados, busca comprender la eficiencia del sistema vial en esta avenida, identificar las intersecciones más críticas y proponer soluciones para mejorar el flujo vehicular y la calidad del servicio. Los resultados de esta investigación servirán como base para la toma de decisiones en la planificación, el diseño y la gestión del tráfico en la Av. Jorge Basadre Grohmann, contribuyendo a la creación de un sistema vial urbano más eficiente, seguro y sostenible en la ciudad de Tacna.

3.2. Aspectos metodológicos

La presente investigación, centrada en la evaluación del nivel de servicio en las intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann en Tacna, se basa en una metodología rigurosa que comprende la recolección de datos de campo, la simulación del flujo vehicular y el análisis de los resultados utilizando el software Synchro V.8 y la metodología HCM 2010. Para comprender en profundidad el estudio y sus hallazgos, es crucial analizar en detalle los aspectos metodológicos empleados, desde la descripción del área de estudio hasta la utilización del software de simulación.

El área de estudio de la investigación de Paucara (2018) se compone de dos intersecciones críticas de la Av. Jorge Basadre Grohmann. La primera intersección se ubica en el cruce con la Av. Augusto B. Leguía, una vía arterial que conecta la zona norte de la ciudad con el centro. Esta intersección, con una geometría en “X”, presenta un alto volumen de tráfico, especialmente en las horas pico, y se caracteriza por la presencia de cuatro

carriles de circulación, dos por sentido, con un ancho de 3.30 metros cada uno. El entorno urbano de esta intersección se caracteriza por una alta densidad de comercios, edificios residenciales y servicios, lo que genera un flujo peatonal significativo que interactúa con el tráfico vehicular. La segunda intersección se encuentra en el cruce con la Av. Gregorio Albaracín, otra vía arterial que conecta la zona sur de la ciudad con el centro. Esta intersección, también con una geometría en “X”, presenta un volumen de tráfico ligeramente menor que la primera intersección, pero también se caracteriza por una alta densidad de actividades comerciales y un flujo peatonal considerable. Ambas intersecciones están controladas por semáforos pre-sincronizados, que buscan regular el flujo vehicular y otorgar prioridad a los peatones en los cruces.

La recolección de datos fue un paso fundamental en la investigación de Paucara (2018), ya que proporcionó la información necesaria para modelar el flujo vehicular en las intersecciones y evaluar el nivel de servicio. La metodología de recolección de datos se basó en tres técnicas principales: aforos vehiculares, medición de los tiempos de semáforo y caracterización de los vehículos. Los aforos vehiculares se realizaron de forma manual, utilizando tableros y formatos para registrar el número de vehículos que pasaban por cada punto de conteo en intervalos de 15 minutos.

Se realizaron aforos direccionales en cada esquina de las intersecciones, para registrar el volumen de tráfico en cada dirección, y aforos generales en un punto fijo de la avenida para determinar el volumen total de tráfico. Los aforos se llevaron a cabo durante tres días, dos días de semana y un día fin de semana, en las horas pico de la mañana, el mediodía y la tarde, para capturar la variación horaria del tráfico y obtener una muestra representativa del flujo vehicular.

La medición de los tiempos de semáforo se realizó de forma manual, utilizando un cronómetro para registrar la duración de cada fase del semáforo (verde, amarillo y rojo) en cada intersección. Se realizaron múltiples mediciones para obtener un promedio representativo de los tiempos de ciclo

y las fases del semáforo. La caracterización de los vehículos se realizó mediante la observación directa, registrando el tipo de vehículo (automóvil, camión, autobús, motocicleta, etc.) y su capacidad (número de pasajeros o carga). Esta información permitió determinar la composición vehicular y su impacto en la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones.

Para simular el flujo vehicular y evaluar el nivel de servicio en las intersecciones estudiadas, Paucara (2018) utilizó el software Synchro V.8, una herramienta ampliamente utilizada en la ingeniería de tráfico para la optimización de la señalización semafórica y el análisis del flujo vehicular. Este software, desarrollado por Trafficware, implementa las metodologías del Highway Capacity Manual (HCM) para el análisis de la capacidad y el nivel de servicio en intersecciones. (Khan & Ullah, 2019). Sus características principales incluyen:

- Modelación microscópica: Permite modelar el movimiento individual de los vehículos en la red vial, considerando sus características, comportamientos e interacciones.
- Optimización de la señalización semafórica: Permite optimizar los tiempos de ciclo y las fases de los semáforos para minimizar las demoras y mejorar la fluidez del tráfico.
- Análisis del nivel de servicio: Permite evaluar el nivel de servicio (LOS) en las intersecciones, basándose en la metodología del HCM.
- Simulación en 2D y 3D: Permite visualizar el flujo vehicular en la red vial en dos y tres dimensiones, lo que facilita la comprensión del comportamiento del tráfico.

En la investigación de Paucara (2018), el software Synchro V.8 se utilizó para crear un modelo de simulación de las intersecciones, ingresando la geometría de las vías, la configuración de los semáforos, los volúmenes

de tráfico y las características de los vehículos. La simulación permitió evaluar el nivel de servicio en cada intersección, analizar el impacto de diferentes escenarios (como cambios en la configuración de los semáforos o la implementación de carriles de giro) y proponer soluciones para mejorar la fluidez del tráfico.

La metodología de Paucara (2018), basada en la recolección de datos de campo, la simulación del flujo vehicular y el análisis de los resultados utilizando el software Synchro V.8 y la metodología HCM 2010, ofrece un enfoque riguroso para evaluar el nivel de servicio en las intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann. La descripción detallada del área de estudio, la metodología de recolección de datos y el uso del software de simulación son elementos cruciales para comprender los resultados y las conclusiones de la investigación, y para aplicar las lecciones aprendidas a otros contextos urbanos.

3.3. Hallazgos

Los resultados de la investigación realizada por Paucara (2018) se presentan a continuación, mostrando los hallazgos principales del estudio sobre el nivel de servicio en las intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann en Tacna.

3.3.1. Resultados de los aforos vehiculares

Los aforos vehiculares se realizaron en dos intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann: la intersección con la Av. Augusto B. Leguía y la intersección con la Av. Gregorio Albarracín. Los datos se recolectaron durante tres días, dos días de semana (martes y miércoles) y un día fin de semana (sábado), en las horas pico de la mañana (7:00 a.m. - 9:00 a.m.), el mediodía (11:00 a.m. - 1:00 p.m.) y la tarde (5:00 p.m. - 7:00 p.m.).

Tabla 1. Volumen horario en hora pico - Intersección Av. Jorge Basadre Grohmann con Av. A. B. Leguía.

Hora	Total Vehículos
7:00-8:00	3422
8:00-9:00	3022
9:00-10:00	1916
10:00-11:00	1349
11:00-12:00	2310
12:00-1:00	2906
1:00-2:00	2007
2:00-3:00	1254
3:00-4:00	1877
4:00-5:00	1798
5:00-6:00	2235
6:00-7:00	2797
7:00-8:00	3118

Tabla 2. Volumen horario en hora pico - Intersección Av. Jorge Basadre Grohmann con Av. Gregorio Albarracín.

Hora	Total Vehículos
7:00-8:00	3396
8:00-9:00	2927
9:00-10:00	2089
10:00-11:00	1338
11:00-12:00	2188
12:00-1:00	2940
1:00-2:00	2119
2:00-3:00	1332
3:00-4:00	1732
4:00-5:00	1666
5:00-6:00	1948
6:00-7:00	2615
7:00-8:00	2865

La composición vehicular se clasificó en siete categorías: motos, autos, station wagon, pick up, panel, combi y camión. La variación horaria del tráfico se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 3. Índice medio diario.

Tipo de Vehículo	Total	%
Motos	212	0.24
Auto	14743	50.17
Station Wagon	4186	14.24
Pick Up	2282	7.77
Panel	1018	3.46
Rural Combi	3339	11.36
Micro	1098	3.74
Bus 2E	361	1.23
Bus 3E	172	0.59
Camión 2E	334	1.14
Camión 3E	1349	4.59
Camión 4E	56	0.19
Semi Trayler 2S1/2S2	31	0.11
Semi Trayler 2S3	237	0.81
Semi Trayler 3S1/3S2	61	0.21
Semi Trayler >=3S3	48	0.16
Trayler 2T2	0	0.00
Trayler 2T3	0	0.00
Trayler 3T2	0	0.00
Trayler 3T3	0	0.00
TOTAL	29386	100

Figura 1: Variación diaria

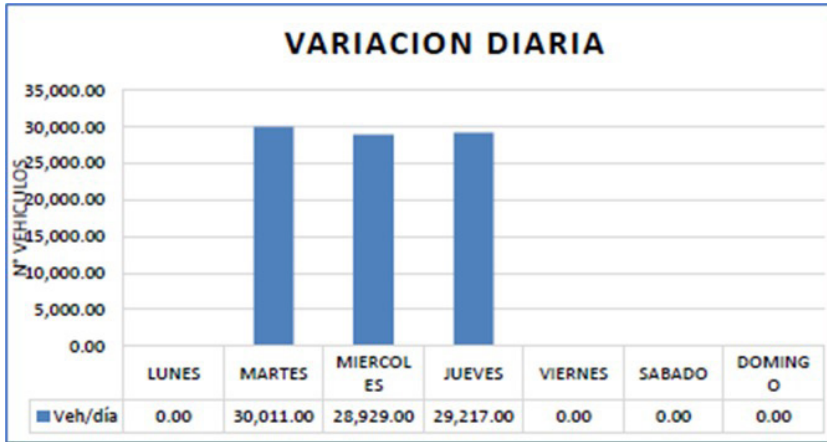
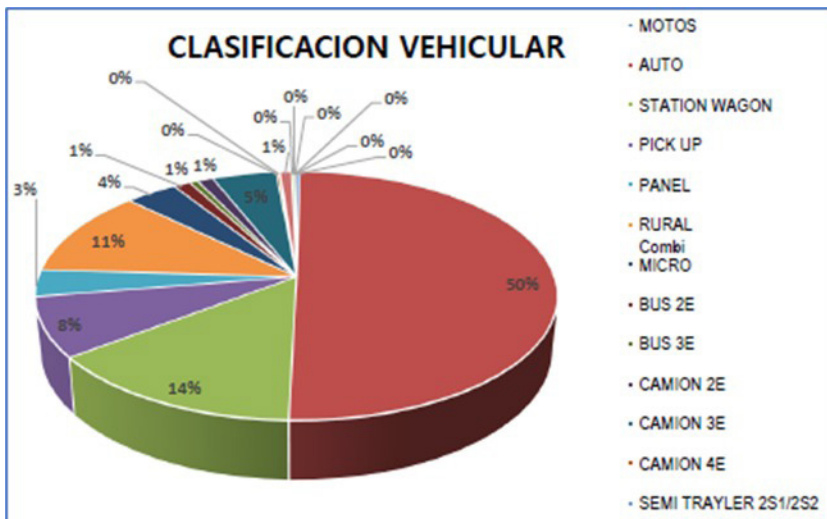


Figura 2: Clasificación Vehicular



3.3.2. Nivel de servicio en las intersecciones

El nivel de servicio (LOS) se evaluó para cada intersección utilizando el software Synchro V.8, que implementa la metodología HCM 2010. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Cuadro 3: Índice medio diario.

Intersección	Grado de saturación (Max v/c Ratio)	Demora total (s)	Nivel de servicio (LOS)	Factor de utilización (ICU)
Av. G. Albarracín - Nodo N° 3	1.26	31.4	C	74.4%
Av. A. B. Leguía - Nodo N° 6	1.91	267.5	F	137%

Identificación de las intersecciones más críticas

La intersección de la Av. Jorge Basadre Grohmann con la Av. Augusto B. Leguía presentó el peor nivel de servicio (LOS F), con una demora total de 267.5 segundos y un factor de utilización de la capacidad (ICU) del 137%. Esta intersección, que conecta dos importantes vías arteriales, experimenta un alto volumen de tráfico, especialmente en las horas pico, lo que genera congestionamiento y largas colas. La configuración de las fases semafóricas y la falta de sincronización entre los semáforos contribuyen a la congestión en esta intersección.



Figura 3. Nivel de servicio por accesos y de la intersección Av. A.B. Leguía.



Figura 4. Factor de Utilización (ICU) de la intersección Av. A.B. Leguía.

3.4. Discusión de resultados

El estudio realizado por Paucara (2018) en las intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann en Tacna, utilizando el software Synchro V.8 y la metodología HCM 2010, arrojó resultados que revelan la pro-

blemática de la congestión vehicular en esta importante arteria de la ciudad. Los hallazgos, que muestran un nivel de servicio deficiente en ambas intersecciones analizadas, se deben analizar en relación con el contexto urbano de Tacna, el crecimiento del parque automotor, la planificación vial y las necesidades de transporte. Comparar estos resultados con los de otras investigaciones sobre niveles de servicio en intersecciones, tanto a nivel nacional como internacional, permite contextualizar el problema y evaluar la efectividad de las soluciones propuestas. Es importante también reconocer las limitaciones del estudio para comprender el alcance de sus conclusiones y la necesidad de futuras investigaciones.

La ciudad de Tacna, ubicada en la frontera sur del Perú, ha experimentado un crecimiento demográfico y económico considerable en las últimas décadas. Este crecimiento ha generado una mayor demanda de movilidad, lo que ha puesto a prueba la capacidad de su sistema vial urbano. La Av. Jorge Basadre Grohmann, como una de las principales arterias de la ciudad, conecta el centro de Tacna con la zona industrial, la Panamericana Sur y la frontera con Chile, lo que la convierte en un eje vial estratégico para el transporte de personas y mercancías. (Gálvez & Vásquez, 2019). Sin embargo, la falta de una planificación vial integral y un crecimiento no controlado del parque automotor han generado una saturación del sistema vial, con congestionamiento vehicular, demoras y un deterioro en la calidad del servicio, especialmente en las intersecciones.

El estudio de Paucara (2018) evidencia esta problemática al mostrar que ambas intersecciones analizadas presentan un nivel de servicio deficiente, con demoras significativas y un alto grado de saturación. La intersección con la Av. Augusto B. Leguía, con un factor de utilización de la capacidad (ICU) del 137%, se encuentra sobrepasada en su capacidad, lo que indica un flujo crítico y congestionamiento constante. La intersección con la Av. Gregorio Albarracín, aunque con un ICU del 74.4%, también presenta un nivel de servicio deficiente, lo que indica que se encuentra cercana al colapso. Estos resultados reflejan la necesidad de implementar medidas para mejorar la capacidad y el nivel de servicio en estas intersecciones,

optimizando el flujo vehicular, minimizando las demoras y mejorando la experiencia de los usuarios.

Estudios recientes a nivel internacional han demostrado que la congestión vehicular tiene un impacto negativo significativo en la economía, el medio ambiente y la calidad de vida de los ciudadanos (Shaheen et al., 2020). Las demoras en el tráfico generan pérdidas de productividad, aumentan los costos de transporte y reducen la competitividad de las ciudades (Shaheen et al., 2020). Las emisiones de los vehículos, que aumentan en situaciones de congestión, contaminan el aire, contribuyendo al cambio climático y afectando la salud pública. (NCHRP, 2010, Citado En Khan & Ullah, 2019). La congestión también genera estrés y reduce la calidad de vida de los ciudadanos, que pasan menos tiempo con sus familias o en actividades de ocio.

En el contexto peruano, la congestión vehicular es un problema cada vez más preocupante, especialmente en las grandes ciudades (Llanos, 2018). Lima, la capital del Perú, es una de las ciudades más congestionadas de Latinoamérica, con un alto costo económico y social (Ríos-Cardich, 2018). Estudios realizados en otras ciudades del Perú, como Arequipa y Trujillo, también han revelado la problemática de la congestión vehicular y su impacto negativo en la movilidad urbana (Tejada et al., 2015; Silva & Villanueva, 2019). La investigación de Paucara (2018) en Tacna, al mostrar la congestión en la Av. Jorge Basadre Grohmann, evidencia que este problema no se limita a las grandes ciudades, y que afecta también a ciudades medianas con un crecimiento demográfico y económico importante.

Al comparar los resultados de la investigación de Paucara (2018) con los de otras investigaciones, se pueden identificar similitudes y diferencias en las causas y las soluciones a la congestión vehicular. A nivel internacional, estudios realizados en ciudades como Los Ángeles, Londres y Singapur han demostrado que la optimización de la señalización semafórica, la implementación de sistemas de transporte inteligentes y la promoción del uso del transporte público son estrategias clave para mejorar el nivel de

servicio en las intersecciones y reducir la congestión (Stevanovic et al., 2019; Wong et al., 2022). En el contexto peruano, la tesis de Reyna Peña (2015), que analiza dos intersecciones en Lima, también destaca la importancia de la optimización de la señalización semafórica para mejorar el nivel de servicio.

Sin embargo, las soluciones que han demostrado ser efectivas en otras ciudades no siempre son replicables en Tacna, debido a las características particulares de su contexto urbano, su sistema de transporte y su cultura vial. La disponibilidad de recursos, la voluntad política y la participación ciudadana también juegan un rol fundamental en la implementación de soluciones a largo plazo.

Es importante reconocer las limitaciones del estudio de Paucara (2018) para comprender el alcance de sus conclusiones. La investigación se limita a dos intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann, lo que no permite generalizar los resultados a toda la avenida o a la ciudad de Tacna. La disponibilidad de datos, que se recolectaron de forma manual durante un periodo limitado, puede afectar la precisión de los modelos de simulación. Los modelos de simulación, aunque son herramientas útiles para evaluar diferentes escenarios, son representaciones simplificadas de la realidad y sus resultados deben interpretarse con cautela (Vidal Ponte & Guerra Jacinto, 2024). Para obtener una visión más completa del problema del tráfico en Tacna, se necesitan estudios más amplios y detallados, que consideren una mayor cantidad de intersecciones, un periodo de análisis más extenso y la utilización de diferentes herramientas de modelado y simulación.

En definitiva, la investigación de Paucara (2018) ofrece una valuable contribución al conocimiento sobre la gestión del tráfico en Tacna, revelando la problemática de la congestión vehicular en la Av. Jorge Basadre Grohmann y planteando soluciones para mejorar el nivel de servicio. Los resultados del estudio, analizados en relación con el contexto urbano, el crecimiento del parque automotor y las necesidades de transporte, y com-

parados con los de otras investigaciones, permiten comprender la complejidad del problema y la necesidad de un enfoque integral para su solución. Es fundamental que las autoridades locales, los planificadores viales y los ingenieros de tráfico consideren los hallazgos de esta investigación para implementar medidas efectivas que mejoren la fluidez del tráfico, reduzcan la congestión y promuevan una movilidad urbana más sostenible.

3.5. Conclusiones

La investigación de Paucara (2018), centrada en la evaluación del nivel de servicio en las intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann en Tacna, permitió identificar una serie de conclusiones cruciales para la gestión del tráfico en esta importante arteria de la ciudad. Los hallazgos, que evidenciaron un nivel de servicio deficiente en ambas intersecciones analizadas, con alto grado de saturación y demoras significativas, confirman la problemática de la congestión vehicular en la Av. Jorge Basadre Grohmann y su impacto en la movilidad urbana.

Una de las principales conclusiones es que la capacidad de las intersecciones estudiadas es insuficiente para manejar el alto volumen de tráfico actual, lo que genera congestionamiento, demoras y un deterioro en la calidad del servicio. La intersección con la Av. Augusto B. Leguía, con un factor de utilización de la capacidad (ICU) del 137%, se encuentra sobrepasada en su capacidad, lo que indica la presencia de un flujo crítico y congestionamiento constante. La intersección con la Av. Gregorio Albarracín, aunque con un ICU del 74.4%, también opera en condiciones de flujo crítico, cercana a su capacidad máxima. Estos resultados evidencian la necesidad urgente de implementar medidas para mejorar la capacidad y el nivel de servicio en estas intersecciones.

Para abordar la problemática de la congestión vehicular en la Av. Jorge Basadre Grohmann, Paucara (2018) propone una serie de recomendaciones que se basan en la optimización del diseño geométrico, la señalización semafórica, la gestión del transporte público y la educación vial. En tér-

menos de diseño geométrico, se recomienda incrementar el número de carriles, implementar carriles de giro exclusivos y modificar la geometría de las intersecciones para minimizar los puntos de conflicto y mejorar la fluidez del tráfico. La optimización de la señalización semafórica, que incluye ajustar los tiempos de ciclo y las fases de los semáforos y mejorar la sincronización entre los semáforos, es otra medida crucial para optimizar el flujo vehicular y reducir las demoras.

La gestión del transporte público, que incluye restringir el acceso de vehículos de transporte público informal a la Av. Jorge Basadre Grohmann y promover el uso del transporte público masivo, puede contribuir a la reducción del volumen de tráfico. La educación vial, que fomenta un comportamiento vial responsable, el respeto a las normas de tránsito y la conciencia sobre la importancia de una movilidad sostenible, es un factor clave para mejorar la seguridad vial y la fluidez del tráfico.

El estudio de Paucara (2018), aunque ofrece un valuable análisis de la situación actual del tráfico en la Av. Jorge Basadre Grohmann, también abre líneas futuras de investigación que pueden complementar y profundizar el conocimiento sobre la gestión del tráfico en la ciudad de Tacna. Una línea futura de investigación podría enfocarse en la evaluación del impacto ambiental de la congestión vehicular en la Av. Jorge Basadre Grohmann, cuantificando las emisiones de gases de efecto invernadero, la contaminación acústica y la calidad del aire (NCHRP, 2010, Citado En Khan & Ullah, 2019). Otra línea de investigación podría analizar la viabilidad de implementar sistemas de transporte inteligentes en la ciudad de Tacna, como los sistemas de control de tráfico adaptativo, la información en tiempo real sobre el tráfico y los sistemas de pago electrónico, para optimizar la fluidez del tráfico y reducir la congestión (Stevanovic et al., 2019).

Asimismo, se podrían realizar estudios sobre la percepción de los usuarios del transporte público en Tacna, identificando las barreras que impiden el uso del transporte público masivo y proponiendo estrategias para mejorar su calidad y su atractivo (Litman, 2017). La evaluación de la efectividad

de las medidas de gestión del tráfico implementadas por la Municipalidad Provincial de Tacna, como los cambios en la circulación, la restricción de estacionamiento en ciertas áreas o la implementación de ciclovías, permitiría identificar las mejores prácticas y ajustar las estrategias para optimizar la movilidad urbana (Guerra & Vidal, 2024). La investigación sobre la gestión del tráfico en vías urbanas es un campo dinámico y en constante evolución, y la tesis de Paucara (2018) constituye un aporte valioso a este campo, especialmente en el contexto de la ciudad de Tacna. Las conclusiones y recomendaciones de este estudio, junto con las líneas futuras de investigación, pueden guiar la toma de decisiones de las autoridades locales, los planificadores viales y los ingenieros de tráfico, contribuyendo a la creación de un sistema vial urbano más eficiente, seguro y sostenible.

REFLEXIONES FINALES

A lo largo de este libro se ha explorado la complejidad del diseño de intersecciones viales, elemento crucial para el funcionamiento eficiente y seguro de la red vial urbana. Desde los principios básicos de diseño geométrico hasta las consideraciones de seguridad, capacidad, accesibilidad e impacto ambiental, se ha analizado la importancia de un enfoque integral que responda a las necesidades del tráfico, las características del entorno urbano y la búsqueda de una movilidad sostenible. La investigación de Paucara (2018), presentada en el Capítulo III, ofrece una valuable perspectiva sobre la problemática del tráfico en la Av. Jorge Basadre Grohmann en Tacna, evidenciando la necesidad urgente de implementar soluciones para mejorar el nivel de servicio y optimizar la gestión del tráfico.

El estudio de Paucara (2018), utilizando el software Synchro V.8 y la metodología HCM 2010, ha permitido cuantificar la ineficiencia de las intersecciones estudiadas, revelando la presencia de flujos críticos y altos niveles de congestión vehicular. Estos resultados, que impactan directamente en la movilidad de los ciudadanos, la economía local y el medio ambiente, exigen una acción decidida por parte de las autoridades para implementar soluciones a corto, mediano y largo plazo. Las recomendaciones planteadas por Paucara (2018), que incluyen medidas de diseño geométrico, optimizaciones semafóricas y estrategias de gestión del transporte público, ofrecen un punto de partida para abordar la problemática del tráfico en la Av. Jorge Basadre Grohmann.

La implementación de soluciones de ingeniería, como la construcción de pasos a desnivel o la reconfiguración de las intersecciones, puede ser necesaria para aumentar la capacidad de las vías y reducir la congestión. (Ceder, 2021). Sin embargo, es crucial que estas soluciones se integren dentro de un plan integral de movilidad urbana, que priorice el transporte público, fomente el uso de la bicicleta y promueva una cultura vial responsable. (Litman, 2017). La educación vial, dirigida tanto a conductores como a peatones, es fundamental para concientizar sobre la importancia del respeto a las normas de tránsito, la prevención de accidentes y la búsqueda de una movilidad más sostenible.

Es importante reflexionar sobre la importancia de la planificación vial en el desarrollo urbano sostenible. (Khan & Lu, 2023). Un crecimiento urbano no planificado, sin una visión estratégica para la gestión del tráfico, puede generar problemas de congestión, accidentalidad y deterioro de la calidad de vida. (Khan & Lu, 2023). La participación ciudadana en el proceso de planificación, la evaluación de impacto ambiental de los proyectos viales y la búsqueda de soluciones innovadoras que integren las nuevas tecnologías son elementos cruciales para crear ciudades más habitables.

El diseño de intersecciones viales, como se ha explorado en este libro, es un campo complejo y en constante evolución, que exige a los ingenieros viales un conocimiento profundo de los principios de diseño geométrico, las metodologías de evaluación del tráfico y las últimas tecnologías en control de tráfico. (AASHTO, 2011; Khan & Ullah, 2019). La investigación continua, la adaptación de las mejores prácticas internacionales y el intercambio de experiencias son fundamentales para crear ciudades más eficientes, seguras y sostenibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2011). *A policy on geometric design of highways and streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Badgley, J., Fowler, J., Mahavie, K., & Peirce, S. (2021). *FHWA Research and Technology Evaluation: Innovative Intersection Design* (No. FHWA-HRT-21-024). United States. Federal Highway Administration. Office of Corporate Research, Technology, and Innovation Management. <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/56950>
- Bichiou, Y., & Rakha, H. (2018). Developing an optimal intersection control system for automated connected vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(5), 1908-1916. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8463636/>
- Ceder, A. (2021). Urban mobility and public transport: future perspectives and review. *International Journal of Urban Sciences*, 25(4), 455-479. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/12265934.2020.1799846>
- Celikoglu, H., & Silgu, M. (2016). Extension of traffic flow pattern dynamic classification by a macroscopic model using multivariate clustering. *Transportation Science*, 50(3), 966-981. <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/trsc.2015.0653>

- Chique, B., Chique, H., & Cabrera, L. (2020). Análisis del sistema de transporte urbano para optimizar el tiempo de viaje del pasajero de la ciudad de Puno-2018. *Veritas Scientia*, 9(1), 135-144. <https://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/vestsc/article/view/285>
- Gálvez, C., & Vásquez, M. (2019). *Normas de diseño geométrico vial en Sudamérica aplicado a vías de evitamiento en el Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2628>
- Guerra, C., & Vidal, J. (2024). *Propuesta de optimización de tiempos de semáforo para reducir los conflictos vehiculares en la intersección entre la Av. Perú y Av. Canadá en el distrito San Martín de Porres* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/674812>
- Huaman, N. (2021). *Optimización del flujo vehicular con modelo Synchro para el ordenamiento del transporte diario en la Ciudad de Quillabamba - Cusco - 2022* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/110876>
- Khan, N., & Lu, H. (2023). Simulating Transport Capacity, Delivery Speed, and Routing Efficiency to Predict Economic Growth. *Intelligent Information Management*, 15(4), 306-337. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=126547>
- Khan, S., & Ullah, H. (2019). A survey of advances in vision-based vehicle re-identification. *Computer Vision and Image Understanding*, 182, 50-63. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S107731421930030X>

- Litman, T. (2015). *Evaluating Transportation Equity*. Victoria Transport Policy Institute. https://www.researchgate.net/profile/Todd-Litman-2/publication/284050013_Evaluating_transportation_equity/links/5c4f42bba6fdccd6b5d00a9d/Evaluating-transportation-equity.pdf
- Llanos, J. (2018). *Análisis del nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas con mayor afluencia de la Av. Hoyos Rubio* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1832>
- Lopez, P., Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y., Hilbrich, R., & Wießner, E. (2018). Microscopic traffic simulation using sumo. In *2018 21st international conference on intelligent transportation systems (ITSC)* (pp. 2575-2582). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8569938/>
- NCHRP. (2010). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board. <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trnews/rpo/rpo.trn129.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Paucara, M. (2018). *Evaluación del nivel de servicio en flujos vehiculares de las intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann, utilizando Synchro V.8 – Tacna, 2018* [Tesis de maestría, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional de la Universidad Privada de Tacna. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/881>

- Pinos, V. (2018). *Diseño de intersecciones en vías urbanas* [Tesis de pregrado, Universidad del Azuay]. Repositorio Digital de la Universidad del Azuay. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5901>
- Sharma, M., & Biswas, S. (2021). Estimation of Passenger Car Unit on urban roads: A literature review. *International journal of transportation science and technology*, 10(3), 283-298. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2046043020300472>
- Urbina, C., Torres, A., & Salazar, R. (2019). Optimización del flujo vehicular en la intersección vial de la Av. Bolognesi y la Av. Gustavo Pinto en la ciudad de Tacna. *Ingeniería Investiga*, 1(1), 66-72. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/543>



EDITORIAL
NAVEGANTE