



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v10i4.4163>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

*Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software
VISSIM*

Analysis of vehicle flow at a traffic signalized intersection using VISSIM software

*Análise do fluxo de veículos em um cruzamento sinalizado utilizando o software
VISSIM*

Pedro Alexander Salas-Guillén^I

psalas8795@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-9802-4269>

Daniel Delgado^{II}

daniel.delgado@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5251-8037>

Correspondencia: psalas8795@utm.edu.ec

***Recibido:** 03 de octubre de 2024 ***Aceptado:** 11 de noviembre de 2024 * **Publicado:** 17 de diciembre de 2024

- I. Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil, Mención Vialidad, Facultad de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Docente Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

Resumen

El congestionamiento vehicular es un problema creciente en muchas ciudades de Ecuador, especialmente en Portoviejo, donde la intersección semaforizada de las Avenidas Reales Tamarindos y América se ha convertido en un punto crítico de movilidad urbana. Esta investigación tiene como objetivo analizar el flujo vehicular en dicha intersección mediante el uso del software de simulación de tráfico VISSIM, con el fin de establecer medidas que mejoren la movilidad en la zona. La metodología utilizada consistió en realizar aforos manuales de los diferentes modos de transporte en intervalos de 15 minutos durante tres días representativos, junto con la recolección de datos geométricos del área de estudio. Posteriormente, se registró toda la información en la interfaz de VISSIM, permitiendo determinar el nivel de servicio de la intersección conforme a la metodología propuesta por el Highway Capacity Manual (HCM). Los resultados obtenidos revelaron que el 62.85% de los vehículos en la intersección son livianos, seguidos por un 27.87% de motocicletas, lo que indica la influencia significativa de estos modos de transporte en los problemas de congestión. El análisis mediante VISSIM clasificó la intersección con un nivel de servicio “C”, reflejando una demora promedio de 25.17 segundos por vehículo. Sin embargo, se identificaron puntos críticos, siendo el PA2 el más afectado, con una demora que alcanzó los 30.06 segundos, lo que lo aproxima a un nivel de servicio “D”. Esta investigación proporciona una base para que las autoridades competentes puedan aplicar medidas adecuadas y específicas que mitiguen los problemas de movilidad en la intersección estudiada. Además, la metodología empleada puede ser replicada en otras intersecciones críticas de Portoviejo y en el país, facilitando la identificación de los niveles de servicio y el diseño de estrategias que favorezcan una movilidad urbana más eficiente y sostenible.

Palabras clave: flujo vehicular; simulación del tránsito; control del tránsito; nivel de servicio.

Abstract

Vehicle congestion is a growing problem in many cities in Ecuador, especially in Portoviejo, where the traffic light intersection of Avenidas Reales Tamarindos and América has become a critical point of urban mobility. This research aims to analyze the vehicular flow at said intersection through the use of the VISSIM traffic simulation software, in order to establish measures that improve mobility in the area. The methodology used consisted of carrying out manual gauging of the different modes of transport at 15-minute intervals during three representative days, together with the collection of geometric data from the study area. Subsequently, all the information was recorded in the VISSIM

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

interface, allowing the level of service of the intersection to be determined in accordance with the methodology proposed by the Highway Capacity Manual (HCM). The results obtained revealed that 62.85% of the vehicles at the intersection are light vehicles, followed by 27.87% motorcycles, which indicates the significant influence of these modes of transportation on congestion problems. The analysis using VISSIM classified the intersection as having a “C” level of service, reflecting an average delay of 25.17 seconds per vehicle. However, critical points were identified, with PA2 being the most affected, with a delay that reached 30.06 seconds, which brings it closer to a “D” service level. This research provides a basis for the competent authorities to apply appropriate and specific measures to mitigate mobility problems at the intersection studied. Furthermore, the methodology used can be replicated in other critical intersections in Portoviejo and in the country, facilitating the identification of service levels and the design of strategies that favor more efficient and sustainable urban mobility.

Keywords: vehicular flow; traffic simulation; traffic control; service level.

Resumo

O congestionamento de veículos é um problema crescente em muitas cidades do Equador, especialmente em Portoviejo, onde o cruzamento semáforo das Avenidas Reales Tamarindos e América se tornou um ponto crítico da mobilidade urbana. Esta pesquisa tem como objetivo analisar o fluxo de veículos no referido cruzamento através da utilização do software de simulação de tráfego VISSIM, a fim de estabelecer medidas que melhorem a mobilidade na área. A metodologia utilizada consistiu na realização de aferições manuais dos diferentes modos de transporte em intervalos de 15 minutos durante três dias representativos, juntamente com a recolha de dados geométricos da área de estudo. Posteriormente, toda a informação foi registada na interface VISSIM, permitindo determinar o nível de serviço do cruzamento de acordo com a metodologia proposta pelo Manual de Capacidade Rodoviária (HCM). Os resultados obtidos revelaram que 62,85% dos veículos presentes no cruzamento são veículos leves, seguidos de 27,87% motocicletas, o que indica a influência significativa desses modos de transporte nos problemas de congestionamento. A análise utilizando o VISSIM classificou o cruzamento com nível de serviço “C”, refletindo um atraso médio de 25,17 segundos por veículo. Contudo, foram identificados pontos críticos, sendo o PA2 o mais afetado, com atraso que atingiu 30,06 segundos, o que o aproxima de um nível de serviço “D”. Esta investigação fornece uma base para as autoridades competentes aplicarem medidas adequadas e específicas para

mitigar os problemas de mobilidade no cruzamento estudado. Além disso, a metodologia utilizada pode ser replicada em outros cruzamentos críticos de Portoviejo e do país, facilitando a identificação de níveis de serviço e o desenho de estratégias que favoreçam uma mobilidade urbana mais eficiente e sustentável.

Palavras-chave: fluxo veicular; simulação de tráfego; controle de tráfego; nível de serviço.

Introducción

El crecimiento vehicular acelerado, especialmente en los últimos años, ha incrementado la congestión en varias ciudades a nivel mundial, afectando gravemente a la movilidad urbana (Delgado et al., 2021). Un desafío recurrente, particularmente en América del Sur, es el crecimiento urbano sin una planificación adecuada, sin integrar criterios de sostenibilidad en el desarrollo de las ciudades. Esta falta de planificación propicia el uso intensivo del transporte privado, dado que las distancias territoriales y funcionales dificultan la movilidad peatonal para acceder a diversos puntos de interés y servicios públicos (Delgado et al., 2020). Muchos esfuerzos se han realizado en la provincia de Manabí para analizar el tránsito vehicular en ciertas intersecciones o localidades (Casanova & Delgado, 2015; Gutiérrez et al., 2020; Loor et al., 2021; Abata et al., 2022; Gómez & Delgado, 2022; Nazareno et al., 2022; Solórzano et al., 2022; Zambrano et al., 2022; Barreto & Delgado, 2023; Chávez et al., 2023). Sin embargo, muy pocas investigaciones emplean softwares especializados que puedan gestionar de mejor manera el tránsito vehicular (Villavicencio & Delgado, 2023).

Los vehículos motorizados no solo son una de las principales causas de accidentes de tráfico a nivel mundial (Vera et al., 2022), sino que también constituyen una fuente significativa de contaminación ambiental. Se estima que más del 75% de las emisiones de monóxido de carbono (CO) y el 60% de los óxidos de nitrógeno (NOx) provienen de este tipo de transporte (Gately et al., 2017). Estas emisiones no solo dañan el medio ambiente, sino que también afectan directamente la salud de las personas que viven en áreas urbanas densamente pobladas. La exposición prolongada al aire contaminado ha sido asociada con el desarrollo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares agudas, según diversos estudios epidemiológicos (OMS, 2018).

Las intersecciones viales juegan un papel clave en la regulación del flujo vehicular y son fundamentales para el control del tráfico en las ciudades. Estas áreas están diseñadas para permitir la circulación de distintos medios de transporte en diferentes direcciones, mediante el uso de mecanismos de control como semáforos y señalización vial (Villavicencio & Delgado, 2023). En

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

particular, las intersecciones semaforizadas se utilizan en zonas de alta congestión, donde se producen interacciones conflictivas entre vehículos motorizados, ciclistas, y peatones, lo que aumenta la probabilidad de accidentes y afecta la eficiencia del tráfico (Gómez & Delgado, 2022).

La evaluación de la calidad de servicio en las intersecciones semaforizadas se puede realizar a través de diferentes enfoques metodológicos. Uno de los métodos más comunes es el análisis manual, que incluye observaciones directas del flujo vehicular (Loor et al., 2021; Gómez & Delgado, 2022). Otra alternativa es la simulación digital, que permite modelar el comportamiento del tráfico mediante software especializado (Bloomberg & Dale, 2000). Entre las metodologías más utilizadas para este tipo de análisis destaca la HCM (Highway Capacity Manual) (2000), ampliamente empleada para evaluar el rendimiento del tráfico en intersecciones.

En los últimos años, los modelos de simulación digital, como la micro simulación de tráfico, han ganado popularidad como herramientas para el análisis y diseño de sistemas de control de tráfico en entornos urbanos. El desafío principal al implementar la micro simulación radica en obtener y procesar datos del mundo real que reflejen adecuadamente la complejidad del tráfico mixto, en el que interactúan vehículos con características físicas y dinámicas muy variadas. Simular con precisión el comportamiento de los conductores en estos entornos es complicado, debido a factores como las diferencias en la aceleración, velocidad y dimensiones de los vehículos. Sin embargo, los avances en la tecnología de simulación han permitido mejoras continuas en la precisión de estos modelos, incorporando variables adicionales, como las características demográficas de los conductores, para reflejar mejor las condiciones del tráfico real (Loor et al., 2021).

Uno de los programas más utilizados a nivel global para la micro simulación de tráfico es VISSIM, el cual ha demostrado ser una herramienta confiable en numerosos estudios (Shaaban & Kim, 2015; Villavicencio & Delgado, 2023).

Por este motivo, el objetivo principal de la presente investigación es analizar el flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM en la ciudad de Portoviejo, Manabí, Ecuador, para proponer alternativas que mejoren el nivel de servicio actual de la zona de estudio.

Metodología

La investigación comenzó con la identificación de la intersección en estudio, localizada entre las avenidas América y Reales Tamarindos, una zona densamente poblada y con alto nivel de congestión en la ciudad de Portoviejo, Manabí, Ecuador. Posteriormente, se procedió a la recolección de datos

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

in situ mediante aforos vehiculares manuales realizados durante tres días de la semana (lunes, miércoles y viernes), en fechas cuidadosamente seleccionadas para evitar cualquier influencia de eventos o situaciones extraordinarias que pudieran alterar la distribución modal y sesgar los resultados de la investigación. Los aforos se llevaron a cabo durante 12 horas continuas cada día (07:00-19:00), con intervalos de 15 minutos, permitiendo capturar de manera más precisa las tendencias de movilidad. Se contabilizaron bicicletas, motocicletas, vehículos livianos, camiones y buses como categorías de circulación independientes, siguiendo las metodologías establecidas por Casanova & Delgado (2015) y Nazareno et al. (2020).

Con los datos del tráfico ya recopilados, se procedió a evaluar las características geométricas de la intersección. Estas incluyeron la medición de las longitudes transversales y longitudinales, tanto en el sitio como mediante la corroboración con bases de datos satelitales, como OpenStreetMap. También se registraron el número de carriles, las pendientes, el tipo de zona, la ubicación de estacionamientos, paradas de buses, pasos peatonales, ciclos semafóricos en segundos y otras medidas complementarias.

Toda esta información recopilada constituye los datos de entrada que se utilizarán para realizar la simulación de tráfico mediante el software comercial PTV VISSIM, el cual implementa la metodología del HCM (Highway Capacity Manual) de 2000 y 2010 para evaluar el flujo vehicular y las condiciones de tráfico. Los rangos que se emplean para determinar el nivel de servicio están resumidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Nivel de servicio en intersección semaforizada (HCM, 2010)

Nivel de servicio	Demora por vehículo (s/veh)
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55

Una vez recopilados todos los datos necesarios, como el aforo vehicular y las características geométricas de la intersección, se procedió a trabajar en el software de simulación PTV VISSIM. El primer paso consistió en localizar la intersección en un mapa georreferenciado que proporciona el programa, para luego ingresar los datos complementarios. Esta información incluyó la identificación

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

de los segmentos viales que se analizarían, destacando los carriles disponibles y los giros permitidos en la intersección.

Posteriormente, se definieron los tipos de vehículos que circularon por la intersección. En este caso, se consideraron vehículos livianos, camiones, buses y bicicletas. Dado que el software no incluye motocicletas de manera predeterminada, estas fueron tratadas como vehículos livianos equivalentes, siguiendo la metodología del HCM (2000), que establece que el número de motocicletas debe dividirse por 2 para efectos de equivalencia vehicular. Con esta clasificación en mano, se distribuyó el flujo de tráfico en porcentajes para cada una de las direcciones y movimientos permitidos en la intersección.

Además de los vehículos, fue crucial contabilizar el número de peatones que cruzaban la intersección a través de las zonas peatonales marcadas. Para esto, se realizaron muestreos a lo largo del día, identificando la cantidad de personas que atravesaban el paso de peatones durante el tiempo que el semáforo mostraba luz verde para ellos. Se seleccionó el periodo con mayor flujo de peatones y se proyectó este valor en peatones por hora, según lo sugerido por Loor et al. (2021).

Con los datos de movilidad recopilados, se procedió a incorporar los puntos de control en la simulación, en este caso, la semaforización. Dado que la intersección tiene cuatro accesos, fue necesario crear un grupo de señales específicas que reflejara las diferentes fases de los semáforos para cada dirección y los giros permitidos. Este grupo de señales se organizó en cuatro ciclos, cada uno correspondiente a una de las aproximaciones, sincronizando el flujo de peatones para que estos solo pudieran cruzar cuando el semáforo vehicular estuviera en rojo en la dirección correspondiente.

Finalmente, se identificaron las zonas de estacionamiento cercanas a la intersección, lo que sirvió como información complementaria para la simulación. Este conjunto de datos y configuraciones permitió realizar simulaciones detalladas de la intersección, las cuales pueden replicarse en cualquier otro entorno urbano.

Inicialmente, se analizó la situación actual de la intersección para determinar su nivel de servicio utilizando los criterios del HCM. A continuación, se probaron diversas medidas de mitigación, como ajustes en los tiempos semaforicos, restricciones de giros y la eliminación de áreas de estacionamiento cercanas. Cada una de estas modificaciones fue evaluada mediante simulación, y se calculó el nuevo nivel de servicio para determinar si las medidas propuestas mejoraban la movilidad y reducían la congestión vehicular en la intersección.

Este enfoque permite un análisis detallado y preciso del comportamiento del tráfico en la intersección, ofreciendo una herramienta eficaz para la toma de decisiones en la gestión urbana y el diseño de políticas de movilidad más eficientes. Los resultados obtenidos fueron evaluados con investigaciones previas para encontrar similitudes y diferencias relacionadas a los cambios de metodologías.

Resultados y discusión

Área de estudio

La intersección semaforizada en la confluencia de las Avenidas América y Reales Tamarindos, ubicada en el centro de Portoviejo, provincia de Manabí, es un punto clave dentro de la dinámica vehicular y peatonal de la ciudad (Fig. 1). Esta intersección está compuesta por cuatro puntos de aproximación (PA), con dos carriles por cada vía, lo que permite la circulación de vehículos en diferentes direcciones.

El área en cuestión se caracteriza por su alta afluencia vehicular, ya que se encuentra en una zona céntrica de gran actividad económica. Desde el año 2020, fue catalogada como la nueva zona bancaria de la ciudad (Gutiérrez et al., 2020), lo que ha incrementado aún más el flujo de tránsito. Aunque el Banco Pichincha, que históricamente generaba un alto volumen de vehículos, ya no está presente en la zona, otras instituciones financieras como Banco Solidario, Internacional y Pacífico aún operan en las inmediaciones y ejercen una influencia considerable sobre el tráfico en esta intersección. Además, la zona cuenta con una amplia variedad de locales comerciales, entre los que destacan restaurantes y tiendas de electrodomésticos, lo que contribuye a su concurrencia.

La Avenida América, una de las principales arterias de la ciudad, también aporta significativamente al volumen de tráfico que converge en esta intersección. El semáforo que regula el tránsito en este cruce opera en un ciclo de 2 tiempos, sin rojos protegidos, lo que implica que los giros en las intersecciones no cuentan con una fase exclusiva de semáforo en rojo para mayor seguridad. Adicionalmente, la zona presenta un flujo considerable de peatones que debe ser contemplado en el análisis del nivel de servicio de la intersección, ya que afecta tanto la seguridad como la eficiencia del tráfico vehicular.

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

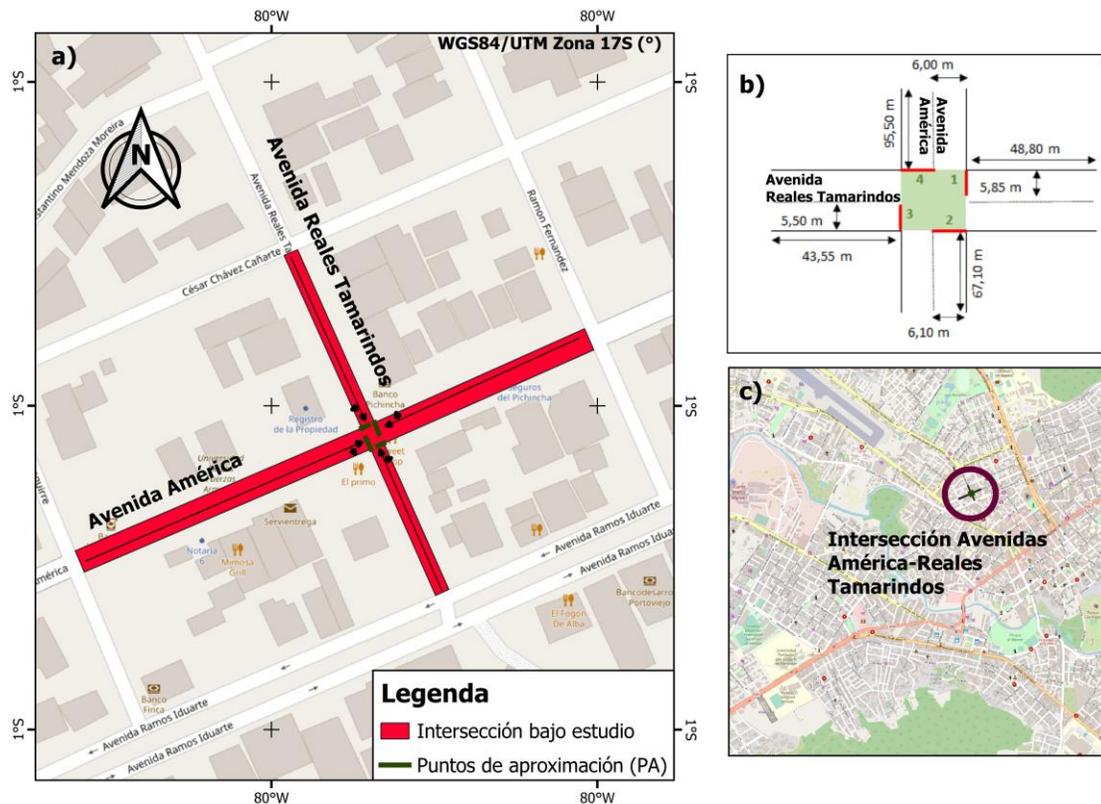


Fig. 1. Intersección semaforizada en la confluencia de las Avenidas América y Reales Tamarindos, en la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí. (a) muestra un detalle de la intersección; (b) presenta las dimensiones geométricas de la intersección (la figura ha sido modificada para mejorar la visualización y comprensión de las proporciones); (c) ilustra el área circundante, que corresponde a una de las zonas más transitadas de la ciudad.

Mediante la Fig. 1 se puede evidenciar que la Avenida América posee una mayor longitud de desarrollo, lo que podría aportar significativamente al tiempo de demora en la intersección. Aquí se tiene un aproximado de 163 m de longitud sin contabilizar las dimensiones internas de la intersección. En los dos carriles identificados en cada PA de la intersección, se permiten dos maniobras: un giro, que depende de su posición dentro del flujo vehicular (hacia la izquierda o derecha), y el desplazamiento recto. Aunque no existen señales que permitan invadir el carril adyacente, se observó que algunos vehículos realizaron este tipo de movimientos. Este comportamiento ha sido cuantificado y considerado en los cálculos correspondientes.

Con base en los datos presentados en la Figura 1, se determinó que la pendiente en todos los puntos de aproximación (PA) de la intersección es del 0%, lo que indica que el terreno es completamente

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

plano. Esta característica favorece una mejor movilidad vehicular. En cuanto a las restricciones, solo en el PA 4 no está permitido estacionar en el carril derecho en dirección del flujo vehicular. Cabe destacar que no se identificaron paradas o estaciones de autobús dentro del área de estudio, lo que elimina cualquier posible interferencia de transporte público en el flujo vehicular de la zona. El ciclo semafórico de la intersección tiene una duración total de 73 segundos para ambas avenidas, distribuidos entre las fases de luz verde, amarilla y roja (Fig. 2). Aquí se observa la mayor relevancia de la Avenida América al tener 10 seg más de tiempo de circulación en verde.

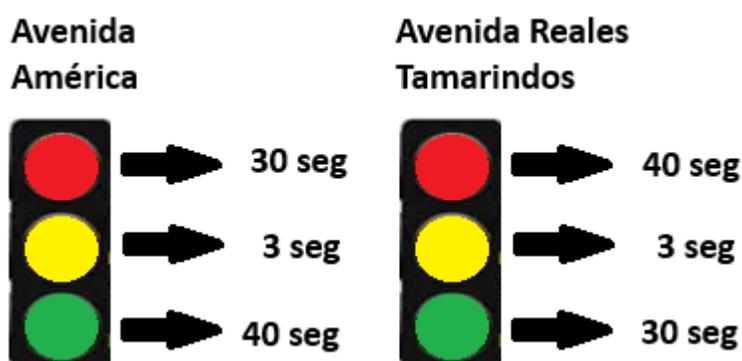


Fig. 2. Distribución semafórica en la confluencia de las Avenidas América y Reales Tamarindos

Distribución Modal de Medios de Transporte en la intersección analizada

El análisis del tránsito vehicular realizado en la intersección semaforizada de las avenidas América y Reales Tamarindos, ubicada en la nueva zona bancaria de la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí, muestra una clara predominancia de vehículos livianos, seguidos de motocicletas y un menor uso de bicicletas, transporte pesado y buses (Fig. 3).

Durante el período de observación, que abarcó tres días, se aforaron un total de 22,282 unidades vehiculares. La distribución modal refleja la preferencia de los usuarios de esta zona urbana por ciertos medios de transporte, como se detalla a continuación:

- Vehículos Livianos: Representan el 62.85% del total de vehículos observados, confirmando su preeminencia en una zona que, como se mencionó previamente, está consolidándose como un centro financiero. Esto sugiere que muchos de los usuarios de este tipo de transporte podrían estar vinculados a actividades comerciales y profesionales.

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

- **Motocicletas:** Ocupan el 27.87% del tránsito registrado, lo que denota una alta participación de este tipo de vehículos. Este dato es relevante en contextos urbanos donde las motocicletas ofrecen una alternativa rápida y eficiente para desplazamientos cortos o en condiciones de tráfico denso.
- **Bicicletas:** Aunque las bicicletas representan solo el 7.94% del tránsito en esta área, su presencia es significativa dado que se trata de una zona urbana. Este porcentaje podría estar vinculado a la creciente tendencia de adoptar medios de transporte más sostenibles y amigables con el medio ambiente.
- **Transporte Pesado y Buses:** Los vehículos pesados y los buses tienen una participación marginal en esta intersección, con 0.78% y 0.56%, respectivamente. Esto puede atribuirse a las características de la zona, donde el tránsito de carga pesada es limitado, y la baja demanda de transporte público podría estar relacionada con la naturaleza comercial del área.

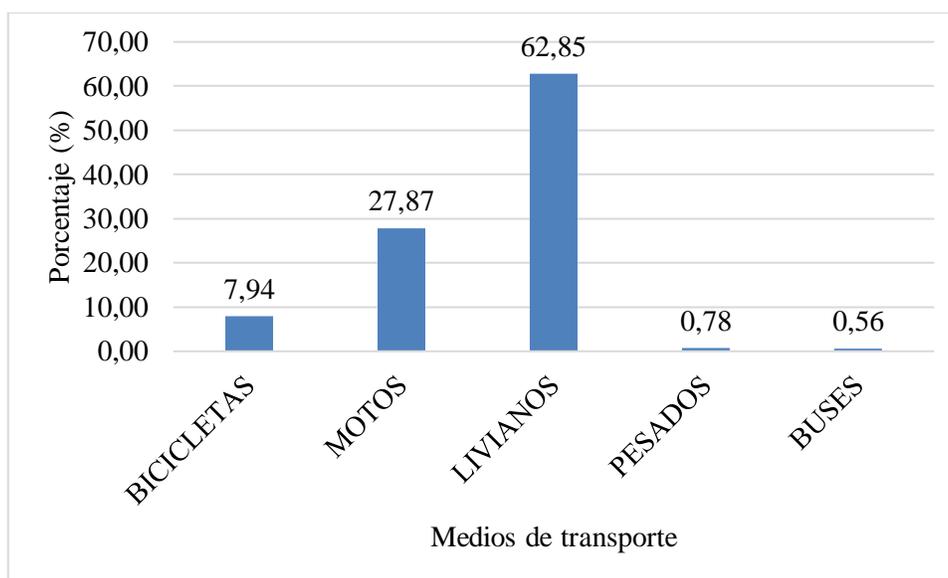


Fig. 3. Distribución Modal de Medios de Transporte en la intersección analizada

Tomando en consideración los puntos de aproximación (Fig. 4), se revela una variación en la intensidad de los desplazamientos vehiculares según los diferentes puntos de PA. Estos puntos se clasificaron en cuatro direcciones, dos correspondientes a la Avenida América (PA 2 y PA 4) y dos a la Avenida Reales Tamarindos (PA 1 y PA 3), tal como se muestra en la Figura 1.

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

- PA 2 (Avenida América): Con un 32.99%, este punto representa la mayor proporción de desplazamientos en la intersección. Este alto porcentaje puede atribuirse a la importancia de la Avenida América como eje principal de flujo vehicular, especialmente en una zona que está consolidándose como centro financiero.
- PA 4 (Avenida América): El segundo punto más transitado, con un 27.87% del total vehicular, también pertenece a la Avenida América. Dicha avenida tiene un rol fundamental en la distribución modal, ya que conecta directamente con varias áreas de actividad económica dentro de Portoviejo.
- PA 1 (Avenida Reales Tamarindos): Este punto de aproximación, con un 22.00%, tiene una participación menor en comparación con los PA de la Avenida América, pero sigue siendo considerable. La Avenida Reales Tamarindos es una vía secundaria en términos de afluencia vehicular dentro de esta intersección, pero conecta áreas residenciales importantes, lo que explica su relevancia en el tráfico local.
- PA 3 (Avenida Reales Tamarindos): Con un 17.14%, este punto tiene la menor participación en el reparto del tránsito vehicular. Está relacionado con su ubicación específica dentro de la intersección y con la menor actividad comercial en esa dirección en comparación con los PA de la Avenida América.

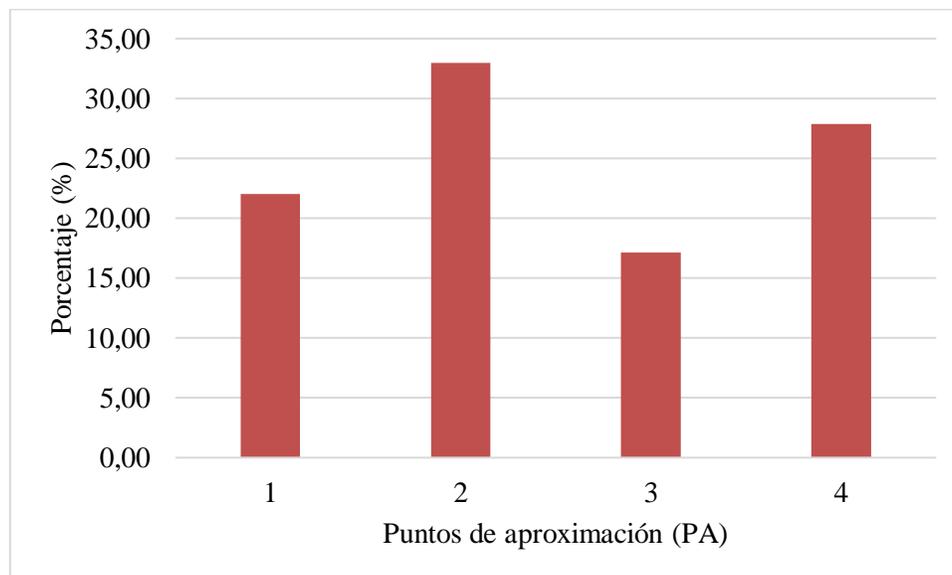


Fig. 4. Distribución de los vehículos aforados por PA

Análisis de las horas pico

El objetivo de esta sección es identificar las horas pico, es decir, los cuatro intervalos de 15 minutos consecutivos que contienen la mayor cantidad de vehículos en circulación en cada día para cada PA, lo que nos permitirá determinar las horas de mayor congestión para un análisis detallado del nivel de servicio mediante el software VISSIM.

PA1 (Fig. 5) presenta una distribución clara de las horas pico en los tres días evaluados. El lunes, la mayor concentración vehicular se da entre las 8:00 y las 9:00, donde se registra un incremento del 15% sobre la media diaria, confirmando que esta es la hora de mayor congestión. El miércoles, este pico ocurre levemente antes, entre las 7:45 y las 8:45, mientras que el viernes se observa entre las 7:30 y las 8:30, con un flujo similar al de los lunes. Esto indica que el PA1 tiene un comportamiento relativamente consistente durante las primeras horas de la mañana, influenciado por los desplazamientos laborales y educativos.

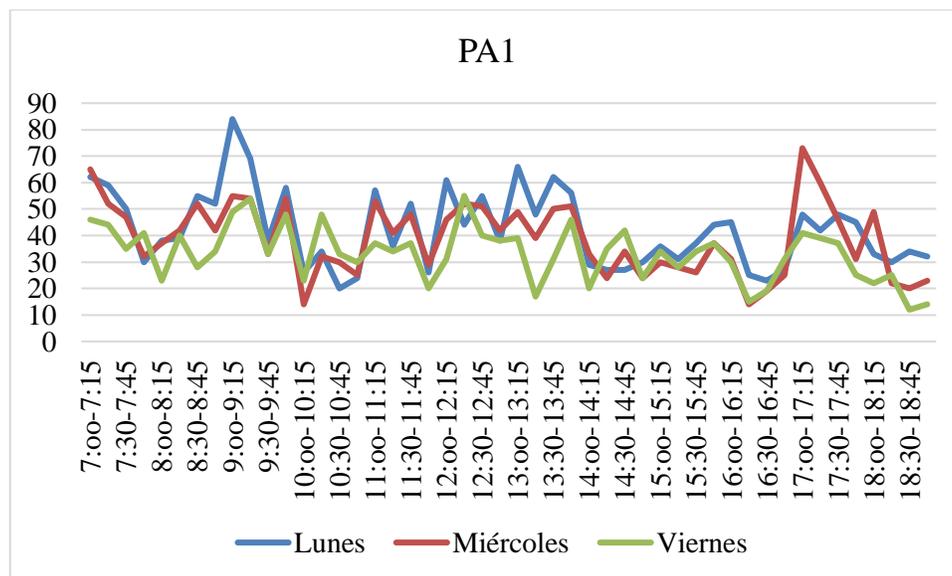


Fig. 5. Distribución vehicular en función de intervalos de 15 minutos para el PA1

PA2 (Fig. 6) muestra una variación más acentuada entre los días de la semana. El lunes, el mayor flujo vehicular se concentra en la tarde, entre las 17:00 y las 18:00, correspondiente al regreso de los trabajadores a casa. El miércoles, el pico se adelanta a las 16:00 y las 17:00, mientras que el viernes vuelve a coincidir entre las 17:00 y las 18:00, pero con un aumento más significativo de vehículos, lo que podría estar asociado a la proximidad del fin de semana. Esta dispersión de los picos horarios

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

sugiere que el comportamiento vehicular en PA2 es influenciado tanto por las dinámicas laborales como por el cambio en los hábitos de movilidad hacia el final de la semana.

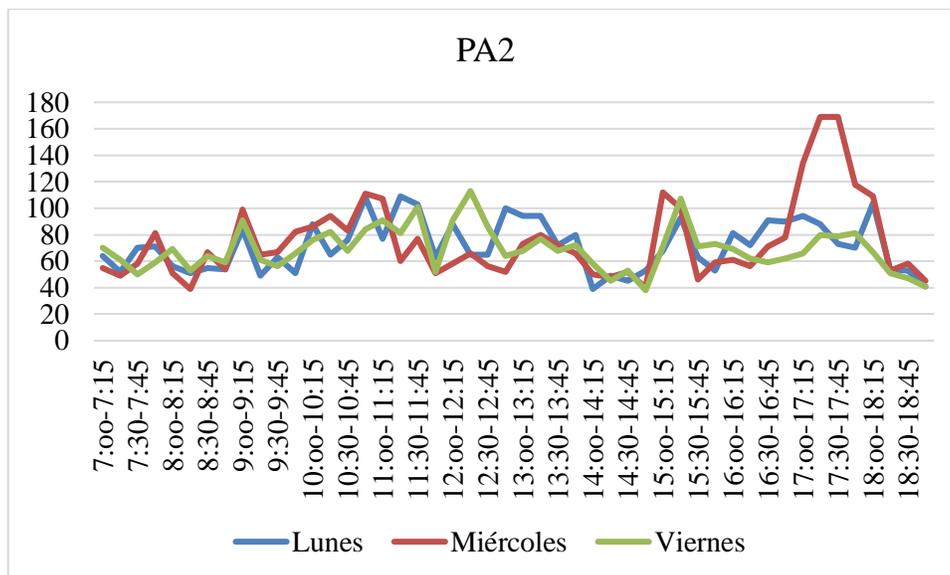


Fig. 6. Distribución vehicular en función de intervalos de 15 minutos para el PA2

PA3 (Fig. 7) revela un comportamiento particular en los días lunes y miércoles, donde el mayor flujo vehicular se concentra a mediodía. El lunes presenta el mayor tráfico entre las 12:00 y las 13:00, mientras que el miércoles ocurre entre las 11:45 y las 12:45, reflejando un incremento de vehículos en las horas asociadas a los desplazamientos por el almuerzo. Sin embargo, el viernes este patrón cambia, y el mayor flujo se desplaza hacia la tarde, específicamente entre las 18:00 y las 19:00, lo que sugiere que las dinámicas sociales y recreativas al final de la semana laboral influyen en el comportamiento vehicular.

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

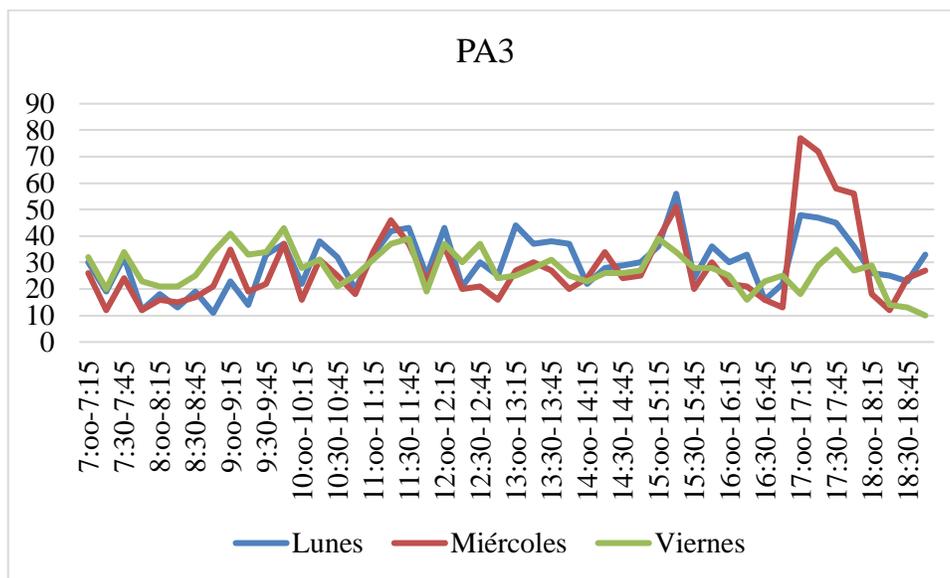


Fig. 7. Distribución vehicular en función de intervalos de 15 minutos para el PA3

PA4 (Fig. 8), el último punto de aproximación, tiene un comportamiento ligeramente distinto al de los otros PA. El lunes, se registra el mayor flujo vehicular entre las 7:15 y las 8:15, donde se observa un incremento del tráfico en las primeras horas del día. El miércoles, el tráfico máximo se da entre las 16:00 y las 17:00, lo que refleja una tendencia distinta a la de los días anteriores, probablemente por la distribución de los horarios laborales o académicos. El viernes, la hora pico se identifica entre las 17:00 y las 18:00, coincidiendo con los patrones de otros PA hacia el final de la semana, donde los usuarios tienden a desplazarse más en la tarde debido a actividades laborales o sociales.

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

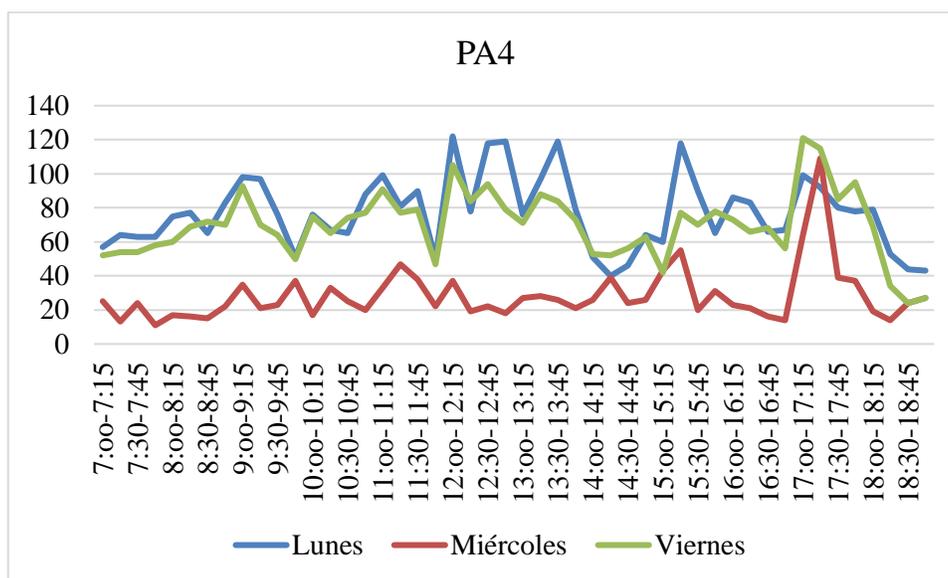


Fig. 8. Distribución vehicular en función de intervalos de 15 minutos para el PA4

El análisis de los cuatro puntos de aproximación muestra que, aunque hay similitudes en los patrones de tráfico a lo largo de la semana, existen variaciones significativas entre los diferentes PA y días. El lunes tiende a tener horas pico más tempranas en los PA1 y PA4, mientras que el miércoles y el viernes presentan variaciones hacia la tarde en PA2 y PA3. Estas observaciones son cruciales para una simulación efectiva en el software VISSIM, ya que permiten ajustar el modelo para reflejar con mayor precisión las condiciones reales de tráfico durante las horas de mayor congestión, lo que a su vez influye en la evaluación del nivel de servicio y la planificación de mejoras en la infraestructura vial.

Determinación del nivel de servicio mediante el Software VISSIM

En la presente sección, se analiza el desempeño de la intersección semaforizada ubicada en la confluencia de las Avenidas América y Reales Tamarindos, en la ciudad de Portoviejo, utilizando el software VISSIM para la simulación y evaluación del nivel de servicio (LOS, por sus siglas en inglés). Este análisis se enmarca dentro del estudio de la dinámica vehicular y peatonal en un área urbana de alta congestión, con el objetivo de optimizar el flujo de tránsito y mejorar las condiciones de seguridad.

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

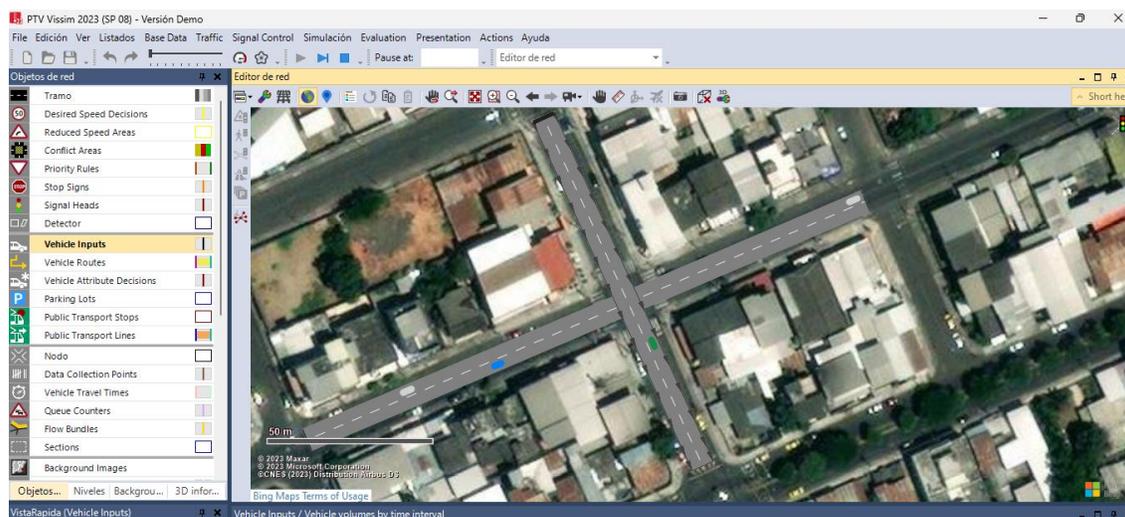


Fig. 9. Identificación de intersección en software de simulación

En la Fig. 9 se muestra la delimitación de la zona de estudio, cuyo emplazamiento fue correctamente identificado e integrado en el software VISSIM. Para llevar a cabo la simulación, se ingresó la información esencial sobre la intersección, incluyendo las geometrías viales, los ciclos y tiempos de los semáforos, los volúmenes de tráfico vehicular, así como los flujos peatonales. Las geometrías incorporadas corresponden a los carriles de circulación, sus respectivas longitudes y anchos, así como la disposición de los puntos de cruce peatonal. Los tiempos semafóricos fueron introducidos basados en la regulación local, considerando tanto los ciclos en verde, amarillo y rojo (Fig. 2), como los intervalos de tiempo asignados específicamente a los peatones.

Asimismo, se tomaron en cuenta los volúmenes de tráfico para los diferentes momentos del día, lo cual permitió realizar simulaciones bajo escenarios de horas pico y horas valle. Los volúmenes de tráfico vehicular fueron diferenciados por tipo de vehículo, incluyendo ligeros, medianos y pesados, para obtener un análisis más detallado de las interacciones entre los distintos usuarios de la vía. Igualmente, los volúmenes peatonales fueron parametrizados de acuerdo a conteos in situ, lo que permitió simular con mayor precisión la afectación del flujo peatonal en la intersección.

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

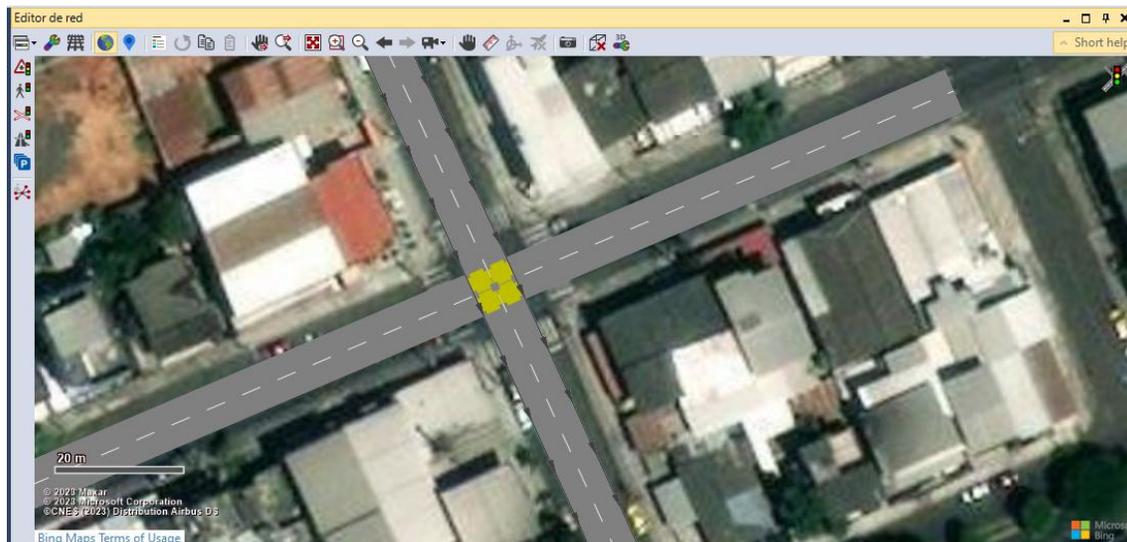


Fig. 10. Identificación de conflictos en la intersección mediante software de simulación

En la Fig. 2, se destacan los principales conflictos observados en la intersección semaforizada, los cuales resultan de las múltiples acciones permitidas en los carriles de aproximación. Cada carril en los puntos de entrada a la intersección permite tres movimientos principales: continuar de frente, girar a la izquierda o girar a la derecha. Este patrón es característico de intersecciones urbanas con alta densidad vehicular, donde la confluencia de estos movimientos genera puntos críticos de conflicto que afectan el nivel de servicio y la seguridad de los usuarios.

El análisis de los movimientos vehiculares en VISSIM permitió identificar que el giro a la izquierda representa el mayor desafío en términos de seguridad y eficiencia. Este movimiento interrumpe el flujo vehicular en sentido contrario, provocando desaceleraciones bruscas y aumentando los tiempos de espera en la intersección. Además, el giro a la izquierda impacta negativamente en el tiempo en verde asignado a los peatones, debido a que los vehículos deben atravesar el cruce peatonal para completar la maniobra, generando un riesgo adicional para los transeúntes y reduciendo la efectividad del ciclo semafórico (se consideraron 637 peatones por hora simulando la situación más desfavorable).

El software permitió simular diversos escenarios para evaluar el impacto de este giro, determinando que su eliminación o restricción podría mejorar significativamente la fluidez del tráfico y reducir los tiempos de espera tanto para vehículos como para peatones. No obstante, cualquier propuesta de modificación en la configuración de la intersección deberá considerar estudios complementarios que incluyan el impacto sobre los tiempos de viaje y el acceso a las vías circundantes.

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

Tabla 2. Resultados del nivel de servicio por PA en la intersección analizada

Parámetros	P. A. 1		P. A. 2		P. A. 3		P. A. 4	
	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho
d1	15,64	17,16	18,62	18,68	15,51	16,08	17,31	16,60
Rp (tabla)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Fpa (tabla)	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
P	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
PF	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
k (para semaforos, 0,5)	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
I	0,99	0,86	0,69	0,68	1,00	0,96	0,84	0,91
d2	2,34	7,72	4,85	7,59	2,06	4,46	3,23	2,93
d residual	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Demora por carril	21,31	28,43	27,23	30,06	20,89	23,93	24,11	23,01
Demora en aproximación	24,52		28,44		22,17		23,64	
Demora en intersección	25,17							

El análisis de LOS en la intersección semaforizada, basada en las demoras registradas, nos permite evaluar la eficiencia del flujo vehicular. Tomando en cuenta la clasificación de los niveles de servicio según los segundos de demora por vehículo, que establece que el LOS A corresponde a una demora menor de 10 segundos por vehículo, el LOS B para demoras entre 10 y 20 segundos, el LOS C para demoras entre 20 y 35 segundos, y el LOS D para demoras entre 35 y 55 segundos, se procederá a analizar los datos proporcionados de la intersección.

En primer lugar, observamos los valores de demora por carril, los cuales varían entre 20,89 y 30,06 segundos. Estos tiempos corresponden a los diferentes movimientos (izquierda y derecha) en cada uno de los cuatro puntos de aproximación (P.A.). Por ejemplo, en el P.A. 1, la demora en el carril izquierdo es de 21,31 segundos y en el carril derecho de 28,43 segundos. Siguiendo la clasificación de los niveles de servicio, ambos tiempos se encuentran en la categoría LOS C, ya que están entre 20 y 35 segundos por vehículo. En el caso del P.A. 2, las demoras en el carril izquierdo y derecho son de 27,23 y 30,06 segundos, respectivamente, lo que también los ubica en el nivel de servicio C. Para el P.A. 3, los valores son similares: 20,89 segundos en el carril izquierdo y 23,93 segundos en el derecho, que igualmente corresponden a un nivel de servicio C. Por último, en el P.A. 4, se registran

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

24,11 segundos en el carril izquierdo y 23,01 segundos en el derecho, ambos dentro de los parámetros de un LOS C.

Al observar las demoras promedio por cada punto de aproximación, se obtiene un solo valor representativo de cada uno. Para el P.A. 1, la demora en aproximación es de 24,52 segundos, lo que, de nuevo, lo sitúa en un nivel de servicio C. En el P.A. 2, la demora es ligeramente mayor, alcanzando los 28,44 segundos, que sigue dentro del rango de un LOS C. El P.A. 3 muestra una mejora en los tiempos, con una demora de 22,17 segundos, que, aunque más cercana al límite inferior del nivel de servicio C, sigue clasificando en esta categoría. Finalmente, en el P.A. 4, la demora es de 23,64 segundos, también dentro del nivel C.

La demora global en la intersección, que resulta ser de 25,17 segundos por vehículo, refleja el nivel de servicio general de toda la intersección. Este valor, al igual que los tiempos obtenidos para cada punto de aproximación y carril, corresponde a un nivel de servicio C. Este LOS implica que la intersección tiene un rendimiento moderado, con tiempos de espera aceptables, pero con la posibilidad de presentar congestionamientos leves en momentos de mayor demanda.

Todas estas demoras registradas para cada carril, cada punto de aproximación, y la intersección en general, se clasifican dentro del nivel de servicio C (entre 20 y 35 segundos por vehículo). Este nivel de servicio indica que, aunque la intersección no presenta demoras excesivas, hay margen para mejorar el rendimiento, especialmente en los carriles con tiempos más elevados, como los del P.A. 2, donde las demoras se acercan al límite superior del LOS C.

Medidas de mejoramiento del nivel de servicio en la intersección analizada

Para mejorar el nivel de servicio de la intersección semaforizada en la confluencia de las Avenidas América y Reales Tamarindos en Portoviejo, es fundamental implementar estrategias orientadas a reducir los tiempos de espera, optimizando el flujo vehicular y garantizando una mayor fluidez en la circulación. Con base en el análisis de las demoras obtenidas, que sitúan el nivel de servicio en la categoría C (20-35 segundos por vehículo), es posible aplicar varias medidas que contribuyan a mejorar este indicador. Entre las estrategias más viables se incluyen las siguientes:

- **Prohibición del giro a la izquierda:** Una de las opciones más efectivas, especialmente en intersecciones semaforizadas con múltiples movimientos por carril, es la restricción del giro a la izquierda. Esta acción es de particular relevancia cuando se ha identificado que este movimiento interrumpe el flujo vehicular contrario y genera conflictos con los tiempos destinados a los peatones, como se observó en esta intersección. Dado que el

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

giro a la izquierda ha sido considerado el más peligroso en términos de congestión y seguridad, prohibir este movimiento puede reducir significativamente las demoras asociadas a la interrupción del flujo contrario. Además, puede evitar la afectación del tiempo de luz verde destinado a los peatones, lo que también optimizaría el cruce peatonal y reduciría los conflictos vehiculares.

- **Programas de educación vial:** Es importante que las mejoras en el tráfico no se limiten únicamente a cambios en la infraestructura o la señalización. Implementar programas de educación vial que sensibilicen a los conductores y peatones sobre el uso eficiente de la intersección contribuiría a mejorar la fluidez del tráfico. Dichos programas pueden enfocarse en la correcta utilización de los carriles, la anticipación de maniobras y la reducción de las acciones de última hora, como frenazos bruscos o giros no permitidos. A mayor conciencia vial, es probable que el cumplimiento de las normas de tránsito y el uso adecuado de la infraestructura redunden en una disminución de las demoras.
- **Restricción de estacionamientos en los puntos de aproximación PA1 y PA2:** La restricción de estacionamientos en las inmediaciones de la intersección, particularmente en los puntos de aproximación PA1 y PA2, podría mejorar considerablemente el flujo vehicular. En muchas ocasiones, los vehículos estacionados cerca de las intersecciones reducen la capacidad de los carriles y dificultan los movimientos de aproximación, especialmente en horas de mayor demanda. Al eliminar o reducir estos estacionamientos, se ampliaría el espacio disponible para los vehículos en circulación, facilitando los movimientos de avance, giro y disminuyendo las interrupciones en la intersección.
- **Optimización de tiempos semafóricos:** Revisar y ajustar los tiempos semafóricos según los volúmenes de tráfico registrados en cada punto de aproximación es otra estrategia clave. Al redistribuir el tiempo de verde de manera más equitativa y eficiente entre los diferentes movimientos, se podría reducir el tiempo de espera en carriles específicos, mejorando el nivel de servicio general. En particular, los puntos de aproximación que presentan los mayores tiempos de demora (como PA2) podrían beneficiarse de un aumento en el tiempo de luz verde.
- **No implementar restricción vehicular por placa:** Aunque la restricción vehicular por placa ha sido aplicada en varias ciudades para reducir la congestión, en este caso específico no parece ser una estrategia efectiva. Dado que el nivel de servicio actual está en

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

la categoría C y las demoras no son excesivamente altas, una medida de restricción por placa podría resultar desproporcionada y poco productiva. Además, este tipo de restricción solo aplaza los problemas de tráfico, concentrándolos en los días y horarios en que no se aplica la medida. Por lo tanto, en este nivel de congestión, no se recomienda la implementación de una restricción vehicular por placas.

Conclusiones

El análisis de la intersección semaforizada de las Avenidas Reales Tamarindos y América en Portoviejo revela su relevancia en la movilidad urbana, dada su ubicación estratégica y el alto volumen de tráfico que maneja. Los datos obtenidos indican que el 62.85% de los vehículos que utilizan esta intersección son livianos, lo que subraya su papel fundamental en los problemas de congestión. El segundo modo de transporte es la circulación de motocicletas, que representa el 27.87% del flujo vehicular.

Los resultados del análisis mediante el software VISSIM clasifican la intersección con un nivel de servicio “C”, reflejando una demora promedio de 25.17 segundos por vehículo, con el PA2 siendo el punto más crítico debido a la presencia de mayor flujo vehicular registrado. Esto indica que, a pesar de que la intersección aún permite un grado aceptable de confort para los usuarios, se necesita una atención constante para evitar su degradación. El análisis también revela que las demoras en los puntos de aproximación son significativas, destacando que la demora por carril en el PA2 derecho alcanzó los 30.06 segundos, lo que se más aproxima a un nivel de servicio “D”.

La implementación de restricciones en el estacionamiento en los puntos de aproximación PA1 y PA2 se ha identificado como la medida más efectiva, con una reducción de 2.14 segundos en la demora promedio. Además, la prohibición del giro a la izquierda en esta intersección podría ser una estrategia útil, especialmente si el tiempo de espera no es considerable. Estas medidas no solo contribuirían a mejorar el flujo vehicular, sino que también reducirían la congestión y los tiempos de espera.

Aun así, se recomienda que las restricciones por placa se apliquen únicamente cuando las demoras superen los 55 segundos, ya que en las condiciones actuales su implementación podría resultar invasiva y contraproducente. Es crucial priorizar la educación vial, fomentando un comportamiento responsable entre los conductores y minimizando la necesidad de recurrir a medidas más estrictas.

La metodología aplicada en esta investigación puede ser replicada en otros puntos críticos de Portoviejo y más allá, facilitando la identificación de los niveles de servicio y la formulación de

estrategias para optimizar la movilidad urbana. Al abordar estos desafíos, se favorecerá un sistema de transporte más eficiente y sostenible, mejorando la calidad de vida de los usuarios en la intersección de las Avenidas Reales Tamarindos y América y en otras áreas de la ciudad.

Referencias

1. Abata, K., Artega, F., & Delgado, D. (2022). Análisis del congestionamiento vehicular en diferentes intersecciones en la ciudad de Portoviejo, Ecuador.
2. Barreto, C. A. M., & Delgado, D. (2023). Análisis del sistema de transporte urbano en la ciudad de Bahía de Caráquez-Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 9(3), 1201-1227.
3. Bloomberg, L., & Dale, J. (2000). Comparison of VISSIM and CORSIM traffic simulation models on a congested network. *Transportation Research Record*, 1727(1), 52-60.
4. CASANOVA RUIZ, G. J., & DELGADO GUTIÉRREZ, D. A. (2015). Diagnóstico del tráfico, alternativas y soluciones al congestionamiento vehicular en la Universidad Técnica de Manabí (Doctoral dissertation).
5. Chávez, Z. T. C., Gutiérrez, B. A. D., & Gutiérrez, D. A. D. (2023). Estudio del tránsito vehicular en la intersección de la avenida Pedro Gual y calle Córdova de la ciudad de Portoviejo, Manabí. *Dominio de las Ciencias*, 9(1), 810-826.
6. Delgado, D., Quiroz, S., Casanova, G., Álava, M. A. C., & da Silva, J. P. C. (2021, May). Urban Mobility Characterization and Its Application in a Mobility Plan. Case Study: Bahía de Caráquez–Ecuador. In *Proceedings of the 1st International Conference on Water Energy Food and Sustainability (ICoWEFS 2021)* (pp. 594-604). Cham: Springer International Publishing.
7. Delgado Gutiérrez, D. A., Cruz da Silva, J. P., Casanova Ruiz, G. J., & Ortiz Hernández, E. H. (2020). Plan de movilidad urbana y espacios públicos sostenibles. Caso de estudio Bahía de Caráquez.
8. Gately, C. K., Hutyra, L. R., Peterson, S., & Wing, I. S. (2017). Urban emissions hotspots: Quantifying vehicle congestion and air pollution using mobile phone GPS data. *Environmental pollution*, 229, 496-504
9. Gómez, J., & Delgado, D. (2022). El congestionamiento vehicular, análisis y propuesta de solución: intersección semaforizada entre Avenidas América y Reales Tamarindos, Portoviejo, Ecuador. *Investigación y Desarrollo*, 16(1).

10. Gutierréz, D. A. D., Hernández, L. L. L., Suarez, W. J. P., & Hernández, E. H. O. (2020). Análisis del tránsito vehicular, alternativas y soluciones a congestionamientos en la Avenida América, entre avenida Manabí y calle Ramón Fernández-Portoviejo-Manabí. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 5(2), 11-23.
11. HCM. (2000). *Highway Capacity Manual 2000*, Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
12. Loor, J., Hernández, E. O., & Delgado, D. (2021). Análisis del nivel de servicio en la intersección de las avenidas Manabí y América, Portoviejo, Ecuador.
13. Nasareno, E. R. C., Macías, K. G. Á., Gutierréz, D. A. D., & Hernández, E. H. O. (2020). Caracterización de la movilidad vehicular y peatonal en la Universidad Técnica de Manabí. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 5(2), 64-75.
14. Organización Mundial de la Salud. (2018). Calidad del aire y salud. OMS. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
15. Shaaban, K., & Kim, I. (2015). Comparison of SimTraffic and VISSIM microscopic traffic simulation tools in modeling roundabouts. *Procedia Computer Science*, 52, 43-50.
16. Solórzano-Barreto, S. S., Villegas-Gorozabel, E. A., Delgado-Gutiérrez, D. A., & Macías-Sánchez, L. K. (2022). Integración de una ciclovía en la movilidad interna de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 5(9 Ed. esp.), 18-37.
17. Vera, V., Larrea, J., Caballero, M., & Delgado, D. (2022). Efectos del COVID-19 sobre los accidentes de tránsito en la provincia de Manabí. *Investigación y Desarrollo*, 15(1), 32-44.
18. Villavicencio, D. L. I., & Delgado, D. (2023). Análisis del nivel de servicio en intersección semaforizada: Avenidas Manabí y América, Portoviejo, Manabí. *Domino de las Ciencias*, 9(3), 878-902.
19. Zambrano, R., García, J., García-Vinces, J., & Delgado, D. (2022). Incidencias del COVID-19 en el tránsito vehicular en la ciudad de Portoviejo–Ecuador: Intersección entre las avenidas Manabí y América. *Investigación y Desarrollo*, 16(1).

Análisis de flujo vehicular en una intersección semaforizada mediante el software VISSIM

©2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).