

Evaluación Con AIMSUN De Una Intersección Semaforizada En La Ciudad De Machala, Ecuador

Evaluation With AIMSUN Of A Signalized Intersection In The City Of Machala, Ecuador

Autores

Juliana Lisbeth Salinas Gonzaga¹, Joselyn del Cisne Torres Chamba², Elsi América Romero Valdiviezo³, Carlos Eugenio Sánchez Mendieta⁴

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, jsalinas5@utmachala.edu.ec

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, itorres13@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, eromero@utmachala.edu.ec

⁴Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, csanchez@utmachala.edu.ec

RESUMEN

Una intersección vial es el punto donde se cruzan dos o más vías urbanas, permitiendo a sus usuarios el intercambio de caminos. Es frecuente que las intersecciones ubicadas en zonas urbanas experimenten un alto volumen de tráfico, lo que provoca congestión vehicular. Con el objetivo de analizar si los usuarios cuentan con un servicio eficiente de circulación vial, se evalúa la capacidad vial y nivel de servicio mediante la simulación del software AIMSUN en la intersección de la Av. Ferroviaria y la vía E25 en la ciudad de Machala; provincia de El Oro, Ecuador. En esta intersección circula un elevado volumen de vehículos, específicamente pesados. La metodología propuesta se basa en el análisis de diferentes indicadores que permiten la evaluación de la intersección en estudio, tales como el diseño geométrico, el tráfico vehicular y los puntos de control o semaforización. El proceso comienza con una observación directa que identifica los tipos de vehículos, las maniobras permitidas y la sincronización de semáforos. Posteriormente, se deben considerar las velocidades y las características geométricas de diseño. Finalmente, se realiza la aplicación de un aforo vehicular para conocer el flujo de tráfico existente, el flujo de saturación y calcular la demora media en cada sentido de la intersección, valor que se utiliza para definir el nivel de servicio. Se obtuvo un tiempo de demora general de 20 segundos por vehículo, clasificándola como un nivel de servicio "C". En conclusión, se propone una alternativa para mejorar el nivel de servicio en caso que se requiera.

Palabras claves: intersección a nivel, software AIMSUN, nivel de servicio, congestionamiento, evaluación.

ABSTRACT

A road intersection is the point where two or more urban roads intersect, allowing their users to exchange paths. Those intersections located in urban areas often experience a high volume of traffic, causing traffic congestion. With the objective of analyzing whether users have an efficient road circulation service, the road capacity and level of service is evaluated through the simulation of the AIMSUN software at the intersection of Av. Ferroviaria and road E25 in the city of Machala, province from El Oro, Ecuador. At this intersection, a high volume of vehicles circulate, specifically heavy. The proposed methodology is based on the analysis of different indicators that allow the evaluation of the intersection under study, such as the geometric design, vehicular traffic and control points or traffic lights. The process begins with direct observation that identifies vehicle types, permitted maneuvers, and traffic light synchronization. Subsequently, speeds and geometric design characteristics must be considered. Finally, a vehicle capacity is applied to know the existing traffic flow, the saturation flow and calculate the average delay in each direction of the intersection, a value that is used to define the level of service. A general delay time of 20 seconds per vehicle was obtained, classifying it as a "C" service level. In conclusion, an alternative is proposed to improve the level of service if required.

Keywords: grade intersection, AIMSUN software, level of service, congestion, evaluation.

Nota Editorial: Recibido: Febrero 2024 Aceptado: Marzo 2024

1. INTRODUCCIÓN

El transporte contribuye al desarrollo económico, industrial, social y cultural de cualquier país. Debido al crecimiento inesperado de los automóviles privados en un país, la congestión del tráfico se ha convertido en un problema importante [1]. Este aumento en la cantidad de vehículos ha llevado a un incremento global en la congestión vehicular, afectando la movilidad, calidad de vida y salud mental de los usuarios que transitan las carreteras. Este problema se agrava cuando se excede la capacidad infraestructural de las vías [2], provocando una disminución de la capacidad del rendimiento y un acelerado deterioro de las calles.

El congestionamiento varía según la zona, por ejemplo, en las zonas urbanas el tráfico es mayor ya que tiene una mayor densidad de carreteras [3]. Las intersecciones en vías de primer orden son las que frecuentemente sufren de congestión, afectando la calidad de conducción y la fluidez del tráfico. Estas intersecciones son consideradas como "puntos críticos" debido a la conducción peligrosa que causa accidentes [4]. Por ello, un estudio detallado identifica sus principales conflictos, generando un análisis completo de los problemas de movilidad [5], lo que garantiza un adecuado diseño de las intersecciones, asegurando que toda la red vial funcione de manera segura y eficiente [6], optimizando la fluidez del tránsito, la reducción de los embotellamientos y la prevención de accidentes.

Las intersecciones son uno de los componentes más importantes de las vías urbanas ya que permiten la conexión de regiones, la movilización de personas y transporte de mercancías, proporcionando un papel fundamental en el crecimiento económico de la sociedad [7]. En estas zonas se realizan una serie de variaciones tanto en la velocidad como en el cambio de direcciones, generando un efecto significativo en el flujo de tráfico [8], volviéndose altamente críticas tanto para los automovilistas como para los peatones [9].

Según las estadísticas, la mayoría de los conflictos y accidentes de tráfico ocurren principalmente en las intersecciones debido a la organización ineficaz de los sistemas de control de los semáforos, dejando en conflicto a todo tipo de transporte público (autobuses, taxis de ruta fija), transporte comercial, o privado [10]. La falta de planificación específica para vehículos de carga pesada en estas áreas conlleva a una limitada maniobrabilidad, convirtiéndose en un problema sustancial para la infraestructura urbana. En este contexto, para cada tipo de transporte es necesaria una etapa de planificación para identificar la ubicación de las intersecciones, con el objetivo de determinar una ruta accesible y libres de coaliciones [11], [12].

La evaluación segura del estado de congestión de intersecciones implica la valoración de algunos parámetros como el flujo de tráfico, la seguridad, la eficiencia y el impacto del comportamiento de los peatones [13]. La calidad y condición de la infraestructura vial influyen directamente en la seguridad en las carreteras y en la eficiencia global de los sistemas de transporte [14].

Mejorar la seguridad vial implica optimizar el diseño para reducir la probabilidad y gravedad de los incidentes viales. Para lograr una mejora en el diseño de intersecciones es esencial examinar y establecer la relación entre los distintos aspectos que conforman dicho diseño y la incidencia de accidentes. La conexión entre los elementos como el ancho del carril, sujeto a la composición de los vehículos y consideraciones de seguridad vial, el radio de giro para la estabilidad de la fila de vehículos, el número de carriles, el ancho y tipo de divisores centrales, el tamaño de los bordes de la carretera, con las tasas de accidentes viales, conforman un enfoque integral para el diseño de intersecciones [15], [16], [17].

Se han realizado diversas investigaciones para la evaluación precisa del estado de congestión en las intersecciones, una de ellas se basa en mapas digitales y en cuadrículas [18]. Por otro lado, un estudio diferente presenta un conjunto de diez indicadores relacionados con el flujo vehicular, como la capacidad de las vías, el retraso promedio y la proporción de vehículos estacionados [13]. Otra investigación se centra en el análisis de las secciones geométricas, la señalización y puntos de control existentes en la intersección, la aplicación de un aforo vehicular y maniobras de giro [19].

Asimismo, el diseño de intersecciones ha sido abordado desde diversos enfoques. En India, se aplicaron principios de uniformidad y simplicidad, la minimización de puntos de conflicto y la optimización del flujo de tráfico a través de la compartición eficaz del espacio y el tiempo [20]. En Estados Unidos, elaboraron un modelo de optimización para una intersección de dos fases con el fin de incrementar su capacidad [21]. Por otro lado, en China plantearon un modelo de optimización destinado a lograr un diseño geométrico y una sincronización de señales óptimas que puedan abordar las limitaciones operativas del mundo real [22]. Finalmente, en Egipto usaron el software de simulación VISSIM para poder modelar y evaluar intersecciones no convencionales, permitiendo comparar el desempeño efectivo considerando cuatro esquemas [23].

Latinoamérica tiene un alto grado de afectación con respecto al congestionamiento vehicular, teniendo a Sao Paulo y Bogotá entre las ciudades con mayor tráfico en el mundo. En este aspecto Ecuador también es considerado uno de los países con vías congestionadas debido a su alta demanda vehicular y mala infraestructura vial [24]. En el contexto de esta problemática, la intersección de la Av. Ferroviaria y la vía E25 en la ciudad de Machala destaca por su importancia, siendo una vía de primer orden con un alto volumen de vehículos debido a la intensa actividad productiva y comercial de la zona. Utilizada mayormente por transportes

de carga, los usuarios de la intersección manifiestan que se presenta limitaciones para la realizar las maniobras de giro. Este problema implica demoras considerables en los desplazamientos, un consumo considerable de combustible, problemas de contaminación ambiental y una disminución de la seguridad vial [25]. Ante este escenario, se vuelve indispensable la evaluación de la intersección para definir si hay un eficiente servicio de circulación vial para sus usuarios.

La mala infraestructura vial es algo bastante común en las carreteras del estado ecuatoriano, las vías estrechas e inadecuados, radios de giro es más usual de lo que parece, esto no solo sugiere una incomodidad para el conductor, sino también, para los transeúntes, además de la emitente peligrosidad que esto puede emanar, sobre todo si estos se encuentran justo en una intersección muy transitada como la zona de estudio.

1.1. Alcances Y Objetivos

El presente estudio tuvo como objetivo proponer un modelo de diseño de la intersección a nivel en vías urbanas mediante criterios técnicos que permita un eficiente servicio de circulación vial para sus usuarios. Como alcance del trabajo se obtuvo el nivel de servicio de la intersección Av. Ferroviaria y la vía E25, la cual fue seleccionada como zona de estudio para reconocer los elementos que afectan la fluidez del tráfico, planteando cambios que favorezcan el mejoramiento de la misma. Los resultados del nivel de servicio son representados mediante tablas y gráficos con el propósito de realizar un análisis que los compare con los datos obtenidos en simulaciones y alcanzar las conclusiones correspondientes.

2. METODOLOGÍA

En la figura 1 se presenta la intersección de la Av. Ferroviaria y la vía E25 o también conocida como la vía Troncal de la Costa o Panamericana, son carreteras de doble carril pertenecientes a la provincia de El Oro, Ecuador. Estas vías son rutas importantes, dado que conecta a dos ciudades fundamentales, como lo son Machala y Guayaquil. Dichas rutas proporcionan un enlace crucial entre estas provincias, sirviendo como el principal nexo para el comercio y, por ende, para la economía de la ciudad de Machala.



Figura 1: Intersección entre la Av. Ferroviaria y la vía E25

Previo al planteamiento del modelo, se realizaron dos aforos. El primero fue un aforo vehicular mediante la aplicación móvil de aforos denominada "Aforo de vehículos TMC". Los conteos se realizaron durante tres días consecutivos en dos jornadas, la primera de 7h00 a 10h00 y la segunda de 11h00 a 14h00, considerando estos horarios como horas pico para asegurar la obtención de datos precisos que reflejen la realidad. Durante estos periodos, se registraron no solo las maniobras de giro a la izquierda, giro a la derecha y cruce de intersección, sino también el número de vehículos livianos, pesados, buses y motocicletas que circulan por la vía. Conjuntamente se midieron los tiempos de los ciclos del semáforo y su respectiva distribución de tiempos efectivos para todos sus cambios rojo, amarillo y verde en cada fase.

Para el segundo aforo, se midieron las velocidades a lo largo de siete días mediante un contador automático ubicado en la avenida Ferroviaria, seleccionada por presentar las mayores velocidades. La obtención de los informes de velocidad, esenciales para determinar la velocidad de diseño, se llevó a cabo utilizando el software Metrocount. Posteriormente, se llevó a cabo un levantamiento topográfico que resultó en la obtención de una ortofoto georreferenciada, proporcionando datos esenciales sobre las características geométricas como el ancho y número de carriles, así como el radio de giro necesario para el análisis detallado.

A continuación, se procesaron los datos mediante las fórmulas y cálculos establecidos en el manual HCM 2010. Este proceso permite determinar la demora para cada grupo de carriles, así como para cada acceso y la intersección en su totalidad. Los resultados obtenidos son utilizados para definir el nivel de servicio de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1: Niveles de servicio con relación a demoras en intersecciones semaforizadas

Nivel de servicio	Demora por control (segundos/vehículo)	Detalle del nivel
A	≤ 10	Flujo libre
B	>10 -20	Flujo establece (pequeños retrasos)
C	>20 – 35	Flujo estable (retrasos aceptables)
D	>35 – 55	Cerca de flujo inestable (retardo tolerable)
E	>55 – 80	Flujo inestable (retraso intolerable)
F	>80	Flujo forzado (atascado)

Fuente: Manual de capacidad de carreteras (HCM 2010) [26]

Luego, se emplea el software de simulación vehicular AIMSUN, una herramienta informática especializada en el diseño y evaluación de modelos de intersecciones controladas por semáforos para la simulación del tráfico rodado. Para llevar a cabo la simulación de manera precisa, se requiere la incorporación de datos cruciales, tales como velocidades, flujo vehicular y detalles geométricos para realizar las comparaciones necesarias. Finalmente, en base a los resultados obtenidos, se propone un nuevo modelo que aborda y mejora los problemas identificados durante la simulación, con el objetivo de alcanzar un nivel de servicio más óptimo en la intersección controlada por semáforos. En la figura 2 se describe el procedimiento de la metodología propuesta para evaluar el nivel de servicio.

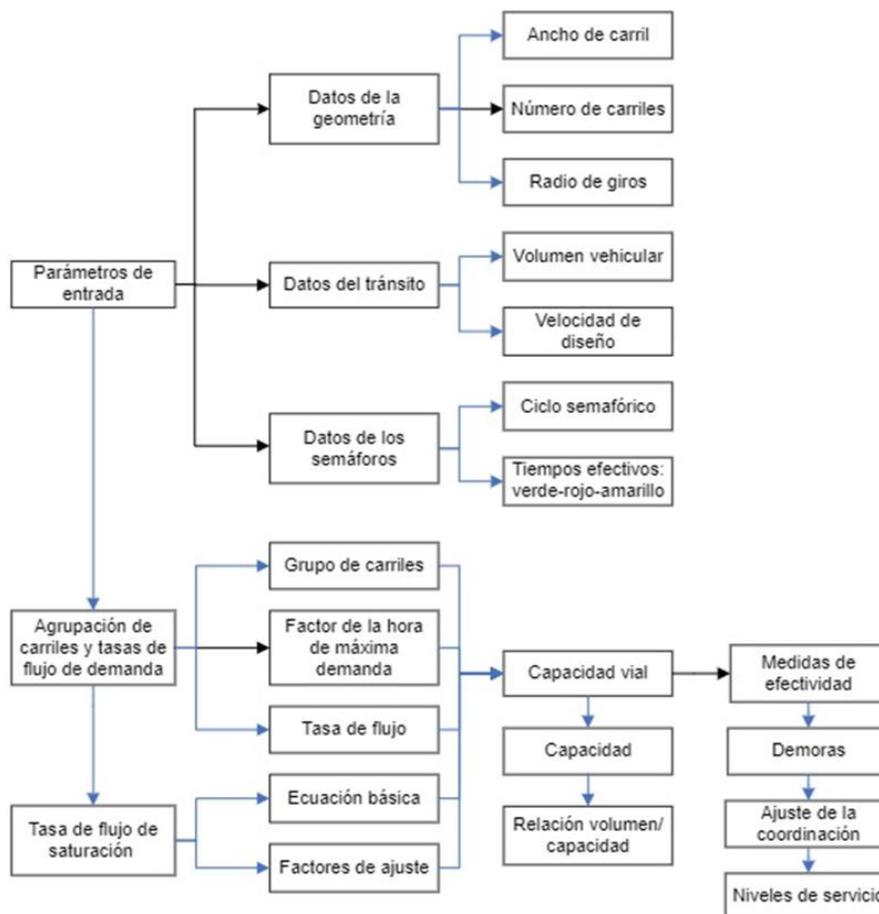


Figura 2: Metodología de evaluación para la intersección semaforizada

3. RESULTADOS

3.1. Diseño Geométrico

Los indicadores del diseño geométrico de la intersección se determinaron mediante mediciones con uso del software ArcGIS. La avenida Ferroviaria cuenta con cuatro carriles, dos carriles para cada sentido y su ancho de carril es de 3.20 metros, mientras que la vía Panamericana tiene solamente dos carriles, un carril para cada sentido y el ancho de carril es de 4 metros. De acuerdo a la norma INEN, establece que el ancho de carril adecuado para velocidades máximas entre 50-90 km/h, debe estar en el rango de 3 a 3.50 metros. Las calles de la intersección son de gran importancia para el comercio e industria en la provincia, por lo que circulan una elevada cantidad de vehículos de gran tamaño, lo que autoriza que el ancho de carriles pueda ser superior a lo dispuesto. En el caso de la avenida ferroviaria si cumple con lo establecido en la normativa. Sin embargo, para la vía E25 se requiere contar con más números de carriles debido al flujo vehicular, pero por las condiciones y características de la zona de estudio no es posible, por lo que la solución factible sería aumentar el ancho de los carriles.

Para los cuatro accesos de la intersección se midieron los radios de giros, los cuales dieron como resultado un radio de giro de entre 6.20 m a 11.00 m determinado mediante mediciones en el Software de AutoCAD como se presenta en la figura 3. De acuerdo a las velocidades específicas de giro, si cumple con los radios mínimos y máximos que especifica la reforma de reglamento a la ley de caminos de la República del Ecuador, la cual estipula que el máximo radio de giro exterior debe de ser de 12.00 m y el mínimo radio de giro inferior será de 5.30 m.



Figura 3: Geometría de la intersección

3.2. Tráfico Vehicular

El resultado del volumen vehicular, consistió en la obtención del máximo volumen para cada acceso y cada maniobra de giro. En la tabla 2, se describen los datos obtenidos que sirven para la determinación del flujo de tráfico y la capacidad vial de la intersección.

Tabla 2: Volumen vehicular

DESCRIPCIÓN	NORTE - SUR			SUR - NORTE			ESTE - OESTE			OESTE - ESTE		
	IZQ	FRENTE	DER	IZQ	FRENTE	DER	IZQ	FRENTE	DER	IZQ	FRENTE	DER
Volumen vehicular (veh/h)	80	351	173	178	284	86	177	137	138	179	263	79
Volumen Máx. período de 15 min (veh/h)	23	94	52	49	79	25	52	38	40	50	77	24
Flujo horario de máxima demanda	0,87	0,93	0,83	0,91	0,90	0,86	0,85	0,90	0,86	0,9	0,85	0,82

La velocidad de diseño de la intersección se consiguió mediante el gráfico de ojiva, el cual indica que el percentil 85% corresponde a 75 km/h. Los vehículos circulan a una velocidad menor debido al gran flujo vehicular que transita, lo que permite establecer que si se cumple con una adecuada velocidad de diseño.

3.3. Puntos De Control

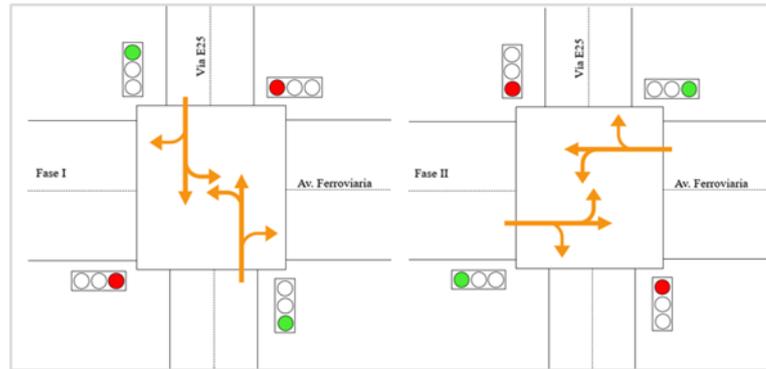


Figura 4: Fases del semáforo

En la figura 4 se presentan las fases de semaforización de la intersección, los intervalos de tiempo para cada fase del semáforo tanto en la dirección Norte-Sur como en la Sur-Norte, fueron de 30 segundos para la fase verde, 3.5 segundos para la fase amarilla y 56.5 segundos para la fase roja. Por el contrario, para las direcciones opuestas de Este-Oeste y Oeste-Este, los tiempos fueron de 50 segundos para la fase verde, 3.5 segundos para la fase amarilla y 36.5 segundos para la fase roja. Dado que dos direcciones comparten las mismas fases, se dividió en dos fases la duración total del ciclo del semáforo, como se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3: Ciclo semaforico en intersección

Fase	Ciclo óptimo (CO) seg	Tiempo de verde (gi) seg	Tiempo de amarillo (Ai) seg	Tiempo de "todo rojo" (Tri) seg
I	90	30	3,5	2
II	90	50	3,5	2

Para la evaluación de la intersección entre la Av. Ferroviaria y la Vía Panamericana, se consideran las variables del diseño geométrico, tráfico vehicular y semaforización. Mediante el procedimiento del manual HCM 2010 se determina la tasa de flujo vehicular, la relación demanda capacidad y las demoras medias para cada giro, clasificando el nivel de servicio existente en la intersección, los datos obtenidos se prestan en la tabla 4.

Tabla 4: Resultados del nivel de servicio

	Norte-Sur			Sur-Norte			Este-Oeste			Oeste-Este		
	Izq	Frente	Der	Izq	Frente	Der	Izq	Frente	Der	Izq	Frente	Der
Tasa de flujo (veh/h)	92	377	208	196	316	100	208	152	160	199	309	96
Tasa de flujo en sentidos (veh/h)	678			611			521			605		
Capacidad de grupo de carriles (veh/h)	436	436	436	436	436	436	845	1427	845	845	1427	845
Capacidad de grupo de carriles (veh/h)	1308			1308			3117			3117		
Relación demanda/capacidad	0,21	0,87	0,48	0,45	0,72	0,23	0,25	0,11	0,19	0,24	0,22	0,11
Demora media (seg)	23	39	25	25	30	23	10	10	10	10	10	10
Demora agregada (seg)	33			27			10			10		
Nivel de servicio por acceso	C			C			A			A		
Nivel de servicio de intersección	C											

Se determinó que el nivel de servicio de la intersección es C, lo que significa que el flujo aún es estable, aunque ya comienzan a manifestarse pequeñas restricciones o especificaciones geométricas que reducen la velocidad, de acuerdo a la tasa de flujo vehicular y el tiempo de demora. Y cuenta con una capacidad vial aceptable. Los resultados son verificados debido a que se obtienen resultados similares con la simulación en el software AIMSUN según se observa en la figura 5.

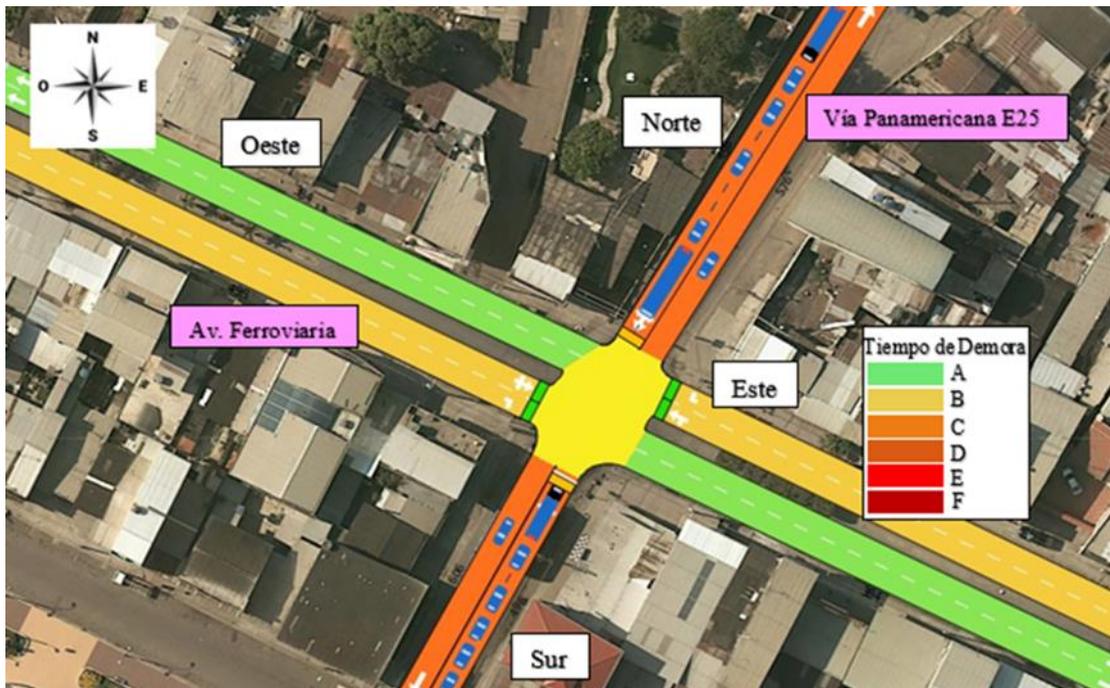


Figura 5: Simulación nivel de servicio de la intersección

Un nivel de servicio C no requiere plantear soluciones que permitan optimizar el flujo del tráfico debido a que no existe grandes inconvenientes de congestionamiento en la intersección. Sin embargo, existen alternativas que permiten mejorarlo, ajustando los tiempos de ciclos en los semáforos.

Para la demostración de esta alternativa, se mejoró el nivel de servicio ajustando el ciclo de los semáforos, que consiste en modificar la duración del ciclo de 90 segundos a 80 segundos, incrementar los tiempos de verde y acortar los tiempos en rojo para cada fase semafórica tomando en consideración los tiempos mínimos de verde para el cruce de peatones. En la figura 6, se describen los tiempos de semaforización adaptados para el nuevo caso.

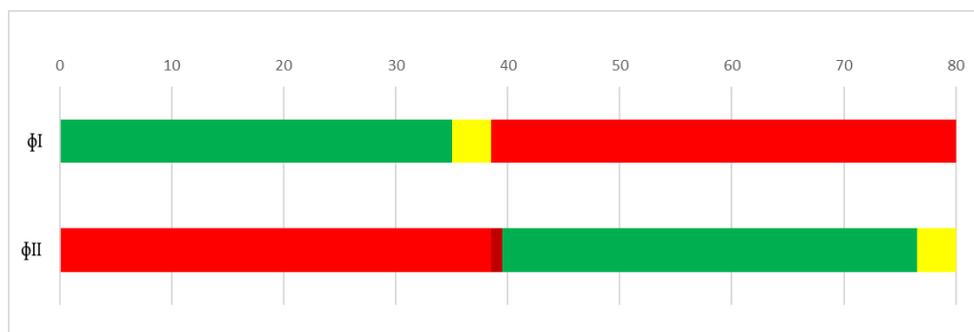


Figura 6: Tiempos del ciclo semafórico para la propuesta

A través de este ajuste se redujeron los tiempos de demora en la intersección, en la tabla 5 se describen los cálculos de las capacidad vial y nivel de servicio obtenido con la nueva alternativa.

Tabla 5: Resultados del nivel de servicio de la propuesta

	Norte-Sur			Sur-Norte			Este-Oeste			Oeste-Este		
	Izq	Frente	Der	Izq	Frente	Der	Izq	Frente	Der	Izq	Frente	Der
Tasa de flujo (veh/h)	92	377	208	196	316	100	208	152	160	199	309	96
Tasa de flujo en sentidos (veh/h)	678			611			521			605		
Capacidad de grupo de carriles (veh/h)	573	573	573	573	573	573	856	1445	856	856	1445	856
Capacidad de grupo de carriles (veh/h)	1719			1719			3157			3157		
Relación demanda/capacidad	0,16	0,66	0,36	0,34	0,55	0,17	0,24	0,11	0,19	0,23	0,21	0,111
Demora media (seg)	14	19	15	15	17	14	9	8	9	9	8	8
Demora agregada (seg)	17			16			9			9		
Nivel de servicio por acceso	B			B			A			A		
Nivel de servicio de intersección	B											

En la simulación se consiguieron resultados semejantes a los calculados. Como se observa en la figura 7, la intersección cuenta con un nivel de servicio "B" lo cual mejora la movilidad de flujo vehicular, ya que proporciona a una duración de paso más reducida, controlando la saturación de la capacidad vial para brindar un servicio eficiente a sus usuarios.



Figura 7: Simulación nivel de servicio de la intersección

4. CONCLUSIONES

En esta investigación se estableció una base para el estudio de los elementos de eficiencia de la circulación en las intersecciones semaforizadas, lo que permitió llevar a cabo un análisis de la capacidad vial de la intersección entre la Av. Ferroviaria y la Vía Panamericana. En comparación con los carriles de sentido recto, los carriles destinados a los giros a la izquierda y a la derecha presentaron una relación demanda/capacidad mayores en tres de los cuatro accesos, no siendo así en el Este-Oeste. Sin embargo, las relaciones demanda/capacidad en la intersección son bastante bajas en relación al intervalo de evaluación entre 0 y 1., manteniéndose dentro de un rango aceptable de capacidad vial. El nivel de servicio que ofrece la intersección es aceptable. Dado este resultado, no es necesario que se proponga un nuevo modelo de diseño en la intersección debido a que no existe congestión, ya que los retrasos son aceptables. A pesar de que la intersección analizada no demanda cambios, se describió una alternativa que permite mejorar su nivel de servicio con la reducción del ciclo semafórico; lográndose alcanzar una demora promedio de 13 segundos, lo que resultó en un nivel de servicio "B", lo que mejora significativamente el flujo de vehículos. Además, se concluye que esta es la mejor opción como propuesta porque no requiere una modificación de la infraestructura, por tanto, no requiere inversión económica, además de que por las características geométricas del lugar su construcción es imposible. Por último, los resultados obtenidos empleando el software AISUM son semejantes a los conseguidos utilizando los procedimientos de HCM 2010.

1. C. Sivasanthosh and K. Porulselvi, "Design of Traffic Intersection," *International Journal For Science Technology And Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 2610–2619, Apr. 2023, doi: 10.22214/ijraset.2023.50667.
2. K. Castañeda, O. Sánchez, R. F. Herrera, E. Pellicer, and H. Porras, "BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design," *Automation in Construction*, vol. 131, pp. 1-14, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.AUTCON.2021.103911.
3. S. S. Pulugurtha and S. Mathew, "Modeling AADT on local functionally classified roads using land use, road density, and nearest nonlocal road data," *Journal of Transport Geography*, vol. 93, pp. 1-15, May 2021, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103071
4. J. S. Wijnands, H. Zhao, K. A. Nice, J. Thompson, K. Scully, J. Gou, et al., "Identifying safe intersection design through unsupervised feature extraction from satellite imagery," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 36, no. 3, pp. 346–361, Mar. 2021, doi: 10.1111/MICE.12623.
5. K. Abata, F. Artega, and D. Delgado, "ANÁLISIS DEL CONGESTIONAMIENTO VEHICULAR EN DIFERENTES INTERSECCIONES EN LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR," *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, vol. 7, no. 1, Jun. 2022, doi: 10.33936/RIEMAT.V7I1.4836.
6. H. NamGung, C. Kim, K. Choe, C. Ri, Y. Kim, and M. P. Ri, "Research Progress of Road Intersection Design Analysis," *Int J Sci Res Sci Eng Technol*, pp. 245–256, Dec. 2020, doi: 10.32628/ijrsrset207643.
7. P. Gaikawad, S. D. Ghodmare, and P. Sandel, "A STUDY-GEOMETRIC DESIGN OF HIGHWAY WITH THE HELP OF AUTOCAD CIVIL 3D," *Journal of emerging technologies and innovative research*, vol. 7, no. 8, pp. 518–526, 2020, Accessed: Oct. 12, 2023. [Online]. Available: www.jetir.org
8. C. Yuan, T. Wang, and X. Yuan, "Analysis of vehicle delays at intersections of urban arterial roads," *Sixth International Conference on Traffic Engineering and Transportation System*, vol. 12591, pp. 202–205, Feb. 2023, doi: 10.1117/12.2669328.
9. A. L. Ballardini et al., "Urban Intersection Classification: A Comparative Analysis," *Sensors (Multidisciplinary Digital Publishing Institute)*, vol. 21, no. 18, pp. 62-69, Sep. 2021, doi: 10.3390/S21186269.
10. S. A. Seliverstov, Y. A. Seliverstov, N. V. Shatalova, O. A. Korolev, O. V. Borodina, and A. A. Kiselev, "Model Development and Assessment of a Complex Intersection of a Road Network using Modern Software Systems," *Proceedings of 2020 23rd International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2020*, pp. 92–96, May 2020, doi: 10.1109/SCM50615.2020.9198813.
11. S. Beyersdorfer and S. Wagner, "Novel Model Based Path Planning for Multi-Axle Steered Heavy Load Vehicles," *16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)*, 2013, doi: 10.0/Linux-x86_64.
12. F. Eltaher, L. Miralles-Pechuán, J. Courtney, and S. McKeever, "Detecting Road Intersections from Satellite Images using Convolutional Neural Networks," *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing*, pp. 495–498, Mar. 2023, doi: 10.1145/3555776.3578728.
13. Q. Deng, W. Zhang, and X. Li, "Dynamic Evaluation Model of Traffic Congestion State at Urban Intersections," *International Conference on Transportation and Development 2022*, vol. 2, pp. 115–123, 2022, doi: 10.1061/9780784484326.012.
14. P. Narayan and Dr. A. Rastogi, "Hybrid Annuity Model in Road Infrastructure Projects," *International Journal For Science Technology And Engineering*, vol. 10, no. 12, pp. 2207–2216, Dec. 2022, doi: 10.22214/IJRASET.2022.48444.
15. X. Chang, H. Li, J. Rong, X. Chen, and Y. Wang, "Determining the appropriate lane width at urban signalised intersections - A case study in Beijing," *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 13, no. 12, pp. 1785–1791, Dec. 2019, doi: 10.1049/IET-ITS.2018.5401.

16. F. Wei, Y. Guo, P. Liu, Z. Cai, Q. Li, and L. Chen, "Modeling Car-Following Behaviour of Turning Movements at Intersections with Consideration of Turning Radius," *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2020, pp. 1–9, 2020, doi: <https://doi.org/10.1155/2020/8884797>.
17. . Hasibul Islam, L. Teik Hua, H. Hamid, and A. Azarkerdar, "Relationship of Accident Rates and Road Geometric Design," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 357, no. 1, pp. 1–10, Nov. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/357/1/012040.
18. D. Chen, X. Yan, X. Liu, L. Wang, F. Li, and S. Li, "Multi-Task Fusion Deep Learning Model for Short-Term Intersection Operation Performance Forecasting," *Remote Sensing (Multidisciplinary Digital Publishing Institute)*, vol. 13, no. 10, pp. 1-26, May. 2021, doi: 10.3390/RS13101919.
19. J. Vera, J. Loor, E. Ortiz-Hernández, and D. Delgado, "Análisis del nivel de servicio en la intersección de las avenidas Manabí y América, Portoviejo, Ecuador," *Riemat*, vol. 6, n. 2, 2021, doi: <https://doi.org/10.33936/riemat.v6i2.4287>.
20. A. R. Aziz, M. Vala, and M. Kanani, "Review on Analysis and Design of Intersection," *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education (IJARIIE)*, vol. 4, no. 1, pp. 506–512, 2018, Accessed: Oct. 12, 2023. [Online]. Available: https://ijariie.com/AdminUploadPdf/Review_on_Analysis_and_Design_of_Intersection_ijariie7351.pdf
21. A. Coates, P. Yi, S. Koganti, and Y. Du, "Maximizing intersection capacity through unconventional geometric design of two-phase intersections," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2309, n. 1, pp. 30–38, Dec. 2012, doi: 10.3141/2309-04.
22. J. Zhao, K. K. Kigen, and X. Xia, "An alternative design for traffic intersections with work zones by using pre-signals," *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, vol. 26, no. 2, pp. 168–182, 2020, doi: 10.1080/15472450.2020.1797505.
23. J. Autey, T. Sayed, and M. El Esawey, "Operational performance comparison of four unconventional intersection designs using micro-simulation," *Journal of Advanced Transportation*, vol. 47, no. 5, pp. 536–552, Aug. 2013, doi: 10.1002/ATR.181.
24. D. A. Delgado Gutierrez, L. L. López Hernández, W. J. Pita Suarez, and E. H. Ortiz Hernández, "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*, vol. 5, no. 2, p. 1-14, Dec. 2020, doi: 10.33936/RIEMAT.V5I2.2541.
25. M. Papageorgiou, K. S. Mountakis, I. Karafyllis, I. Papamichail, and Y. Wang, "Lane-Free Artificial-Fluid Concept for Vehicular Traffic," *Proceedings of the IEEE*, vol. 109, no. 2, pp. 114–121, Feb. 2021, doi: 10.1109/JPROC.2020.3042681.
26. HCM (2010), "Highway capacity manual", National Research Council (U.S.): Transportation Research Board, 2010.