

## UTILIZACIÓN DE LA MICROSIMULACIÓN PARA EL ESTUDIO DE TRÁFICO VEHICULAR EN VÍAS URBANAS

### USE OF MICROSIMULATION FOR THE STUDY OF VEHICLE TRAFFIC ON URBAN ROADS

Martin Paucara Rojas<sup>1</sup>, Sergio Eduardo Avilés Córdova<sup>2</sup>, Samuel Huaquisto Cáceres<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada de Tacna, Escuela PostGrado, Tacna - Perú

<sup>2</sup> Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica - Perú

<sup>3</sup> Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú, Instituto ITEIC

marpaucarar@virtual.upt.pe

(Recibido el 26 de febrero 2023, aceptado para publicación el 18 de julio 2023)

#### RESUMEN

La congestión vehicular, resultado del tráfico en constante aumento en las grandes ciudades en crecimiento, se ha convertido en un problema de carácter social, agravado tanto por las obras en curso en las vías urbanas como por la falta de señalización. El presente estudio tiene como objetivo analizar el Nivel de Servicio en los flujos vehiculares de las intersecciones urbanas de la vía PE-1S mediante la microsimulación utilizando el software Synchro Trafficware, para el cual, se realizaron aforos vehiculares en la zona durante tres días, con una duración continua de 12 horas cada día. Posteriormente, se procesó y se llevó a cabo la microsimulación en un escenario actual y un escenario futuro de las intersecciones debido a los altos niveles de congestión vehicular que se generan. Los resultados obtenidos revelaron que, en el escenario actual, el nivel de servicio en las intersecciones se clasifica como C y F, con tiempos de demora de 31.4 y 267.5 segundos respectivamente. En el escenario futuro, los niveles de servicio se clasificaron como F y F, con tiempos de demora de 81.7 y 103.3 segundos respectivamente. En conclusión, el nivel de servicio determinado en la zona de estudio muestra un alto índice de congestión vehicular. Se prevé que en el futuro esta congestión sea incontrolable, lo que causará incomodidad para los usuarios. Por lo tanto, se recomienda como alternativas óptimas de mejora la implementación de incrementos de carril y direccionamiento exclusivo de giro en la zona, con lo cual se optimiza a niveles de servicio C y D.

**Palabras Claves:** Congestión Vehicular, Flujos Vehiculares, Intersección Vial, Microsimulación, Nivel de Servicio.

#### ABSTRACT

The vehicular congestion, a result of the ever-increasing traffic in rapidly growing cities, has become a social issue exacerbated by ongoing road works and a lack of signage. The objective of this study is to analyze the Level of Service in vehicular flows at the urban intersections of the PE-1S road through microsimulation using the Synchro Trafficware software. Vehicle counts were conducted in the area for three consecutive days, with each day lasting 12 continuous hours. Subsequently, microsimulation was performed for both the current scenario and a future scenario, considering the high levels of vehicular congestion generated. The results obtained revealed that in the current scenario, the level of service at the intersections is classified as C and F, with delay times of 31.4 and 267.5 seconds, respectively. In the future scenario, the levels of service were classified as F and F, with delay times of 81.7 and 103.3 seconds, respectively. In conclusion, the determined level of service in the study area indicates a high index of vehicular congestion. It is anticipated that this congestion will become uncontrollable in the future, leading to discomfort for users. Therefore, it is recommended to implement lane expansions and exclusive turning directions in the area as optimal improvement alternatives, which optimize the service levels to C and D.

**Keywords:** Vehicular Congestion, Vehicular Flows, Road Intersection, Microsimulation, Service Level.

## 1. INTRODUCCIÓN

La congestión vehicular es un problema generado en muchas ciudades urbanas del mundo [1] y cada vez más se va incrementando esta problemática debido a una inadecuada gestión vial [2] por parte de las instituciones comprometidas. Además, la congestión vehicular influye negativamente en el desarrollo económico de las ciudades urbanas [3] debido al incremento de los costos de viaje, exposición a efectos ambientales adversos, incremento del consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes producidos los vehículos [4] y generación de la contaminación acústica y visual en el entorno, induciendo una mala planificación vial.

Así mismo otro problema que agrava la congestión vehicular a nivel mundial es el crecimiento de la industria automotriz y el poder adquisitivo de las personas que ha generado saturación de las vías provocando costos de demora en tiempos, costos de pérdida de combustible, costos de contaminación debido a carreteras estrechas, modos de transporte público ineficaces y actitudes de los conductores, lo que resulta en niveles de estrés altos para los usuarios de la vía [5]. Se ha

visto en ciudades metropolitanas con problemas de congestión vehicular, accidentes de tránsito y contaminación ambiental producido por los vehículos que circulan por la vía, donde es necesario proponer la aplicación de sistemas eficientes de transporte público utilizando software de simulación como VISSIM y VERSIT para analizar los efectos adversos [6].

En el caso de América Latina, estudios indican que los problemas de congestión vehicular se incrementan debido a parámetros como la hora, el tipo de vehículo y el factor humano con una clara falta de educación vial [7], siendo las ciudades de Bogotá y Sao Paulo las más congestionadas con el más alto grado de afectación referido al tráfico vehicular urbano a nivel mundial [8]. Así mismo, el crecimiento urbanístico en varias ciudades de Latinoamérica ha permitido el aumento del número de automóviles sobre las vías urbanas, donde vehículos de transporte público y urbano de trasladan entre distintos puntos de interés importantes. En el caso del Perú, de acuerdo al Organismo Peruano de Consumidores y Usuarios, (OPECU) [9], el desarrollo económico aumentó la flota vehicular en la última década ocasionando problemas de conflicto de flujos y gestión vehicular en las diversas ciudades del ámbito nacional.

Los estudios realizados por la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) [10], consideran la congestión vehicular como un problema crítico que requiere controlar el volumen de tráfico y planificar una infraestructura y gestión vial adecuadas. Es fundamental evitar que la demanda de tráfico se acerque a la capacidad instalada para garantizar un nivel de servicio adecuado. Expertos en la materia [11] [12] sugieren que intervenciones progresivas en los diferentes aspectos del sistema de transporte pueden generar mejores resultados. Estas intervenciones incluyen la implementación de una señalización horizontal y vertical efectiva en las vías, la promoción de hábitos de conducción adecuados, una sincronización semafórica adecuada, la redistribución del transporte urbano y una mayor atención a los volúmenes de tráfico que generan conflictos y congestión en las vías.

La práctica de planificación urbana conlleva resultados muy diversos para las zonas menos atractivas, lo cual genera falta de compromiso de la población desfavorecida hacia las políticas urbanas [13]. Por tanto, es necesario desarrollar indicadores que fomenten el mejoramiento de las carreteras y vías urbanas mediante una gestión operativa adecuada, que a su vez conduzca a programas de planificación urbana de la ciudad [14]. La planificación de la infraestructura vial es de vital importancia, ya que garantiza que los proyectos aborden las deficiencias en la planificación vial dentro de un presupuesto y un cronograma establecidos [15]. Así, en el desarrollo de sistemas de transporte de personas y mercancías en entornos urbanos, factores como la política, la geografía y el tiempo influyen de manera significativa, siendo aspectos clave en la planificación urbana y del transporte [16]. En este contexto, la planificación vial urbana sostenible debe esforzarse por satisfacer las demandas actuales y futuras en términos de volumen de tráfico, con el objetivo de lograr beneficios económicos, ambientales y sociales [17].

El Highway Capacity Manual (HCM) [18] considera el nivel de servicio como una medida cualitativa basada en la demora en segundos, la cual representa la calidad de la vía en relación a las condiciones operacionales. Estas condiciones se describen utilizando letras que van desde el nivel A, que corresponde a las mejores condiciones de flujo libre, hasta el nivel F, que representa los peores flujos críticos. Según el Synchro-Trafficware [19], para abordar la congestión vehicular en las condiciones actuales, se requiere realizar la microsimulación que opera bajo la metodología del HCM 2010, de tal manera proyectarse hacia el futuro y realizar la evaluación de posibles alternativas de solución.

Finalmente, el objetivo del presente estudio es analizar el nivel de servicio de los flujos vehiculares en las intersecciones de la vía PE-1S, conocida como Panamericana Sur, mediante la utilización de una microsimulación del tráfico actual y futuro. Se han seleccionado específicamente las intersecciones críticas de la Av. A.B. Leguía y Av. Gregorio Albarracín en la ciudad de Tacna, en combinación con la vía nacional PE-1S, con el fin de proponer alternativas de solución viables. Esto se debe a que se ha identificado una infraestructura vial deficiente en estas intersecciones principales, caracterizada por fallas y desgaste superficial en la capa de rodadura, un diseño geométrico inadecuado, una semaforización insuficiente, así como una falta de señalización horizontal y vertical.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio descriptivo de enfoque cuantitativo de corte transversal en la Panamericana Sur PE-1S, cuyas unidades de análisis fueron los vehículos que transitan por dicha vía. Para el recojo de datos se empleó la técnica de la observación, cuyos instrumentos fueron fichas de aforo vehicular de conteo manual, recomendado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del Perú, los cuales se sintetizaron en un inventario de flujos vehiculares críticos. El estudio se llevó a cabo en la ciudad fronteriza de Tacna, Perú, en la vía Panamericana Sur que se dirige hacia Chile, específicamente en la sección identificada como PE-1S, la cual atraviesa el área urbana. El estudio se enfocó en las intersecciones ubicadas en la Av. Gregorio Albarracín (Nodo 3) y la Av. Augusto B. Leguía (Nodo 6). La población objetivo del estudio estuvo compuesta por vehículos livianos de pasajeros y vehículos pesados de carga que transitan por la vía PE-1S y las intersecciones mencionadas, como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1:** Vías de estudio e intersecciones nodos 3 y 6, más foto panorámica de la zona.

La ubicación de la zona de estudio se encuentra en las coordenadas S18°15'40,32" y W70°15'40,32". La vía PE-1S tiene una geometría de dos calzadas con dos carriles por sentido, con una sección vial de 30 metros. Cada carril tiene un ancho de 3,60 metros, mientras que en las vías que intersectan, la configuración es de una sola calzada con un ancho de 7,20 metros y un carril de 3,60 metros en cada sentido.

El recojo de datos de los flujos vehiculares y los tipos de vehículos que circulan por la vía en estudio se efectuó mediante los aforos vehiculares de conteo manual cada 15 minutos. Los datos del aforo vehicular se realizaron los días martes, miércoles y viernes desde las 7:00 a.m. a 8:00 p.m. en sentidos N-S y S-N, luego los aforos direccionales de giro en cada intersección, los cuales se desarrollaron en hora punta y en el día de mayor densidad vehicular.

Los datos recopilados se organizan en fichas de observación de tráfico a través de flujogramas para cada intersección, tal como se ilustra en la Figura 2. Estas fichas se utilizan como punto de partida para el análisis del nivel de servicio y la microsimulación utilizando Synchro Trafficware. Durante este proceso, se ingresan los datos relacionados con la geometría de la vía, los carriles y los volúmenes de tráfico, con el objetivo de obtener resultados sobre el nivel de servicio, el flujo de saturación, la relación volumen-capacidad, así como gráficos en 2D y modelamiento tanto en 2D como en 3D [19].



**Figura 2:** Configuración de las intersecciones en el Software Synchro Trafficware.

En la Tabla 1 se muestran los criterios del Manual de Capacidad para determinar los niveles de servicio, en función del tiempo de demora en las intersecciones con la finalidad de mejorar los índices de evaluación de acuerdo a los criterios indicados [18].

TABLA 1 - ÍNDICES DE EVALUACIÓN POR NIVELES DE SERVICIO

Nivel de servicio	Demora (s)
A	< 10
B	10 - 20
C	20 - 35
D	35 - 55
E	55 - 80
F	> 80

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de realizar el análisis de los métodos de aforo [20], se presentan los resultados obtenidos a partir de los aforos realizados en la vía PE-1S durante tres días consecutivos, con una duración mínima de 12 horas por día. Se observó un mayor flujo de vehículos el día martes, con un registro de 30 011 vehículos/día y un Índice Medio Diario (IMD) de 29 386 vehículos/día. En la Figura 3 se muestra el comportamiento de los flujos vehiculares por hora, para cada día aforado y por tipo de vehículo, a lo largo de las 12 horas consecutivas. El día más crítico fue el martes, con una hora pico entre las 7:00 y las 8:00 horas, durante la cual se registraron 3 399 vehículos. Le siguieron las horas entre las 12:00 y las 13:00, con 2 887 vehículos, y entre las 19:00 y las 20:00, con 2 969 vehículos. La hora pico de menor flujo se ubicó entre las 14:00 y las 15:00 horas, con 1 277 vehículos. Además, de la Figura 3 se puede observar que existe una variación horaria similar en el flujo de vehículos a lo largo de los tres días de aforo considerados.

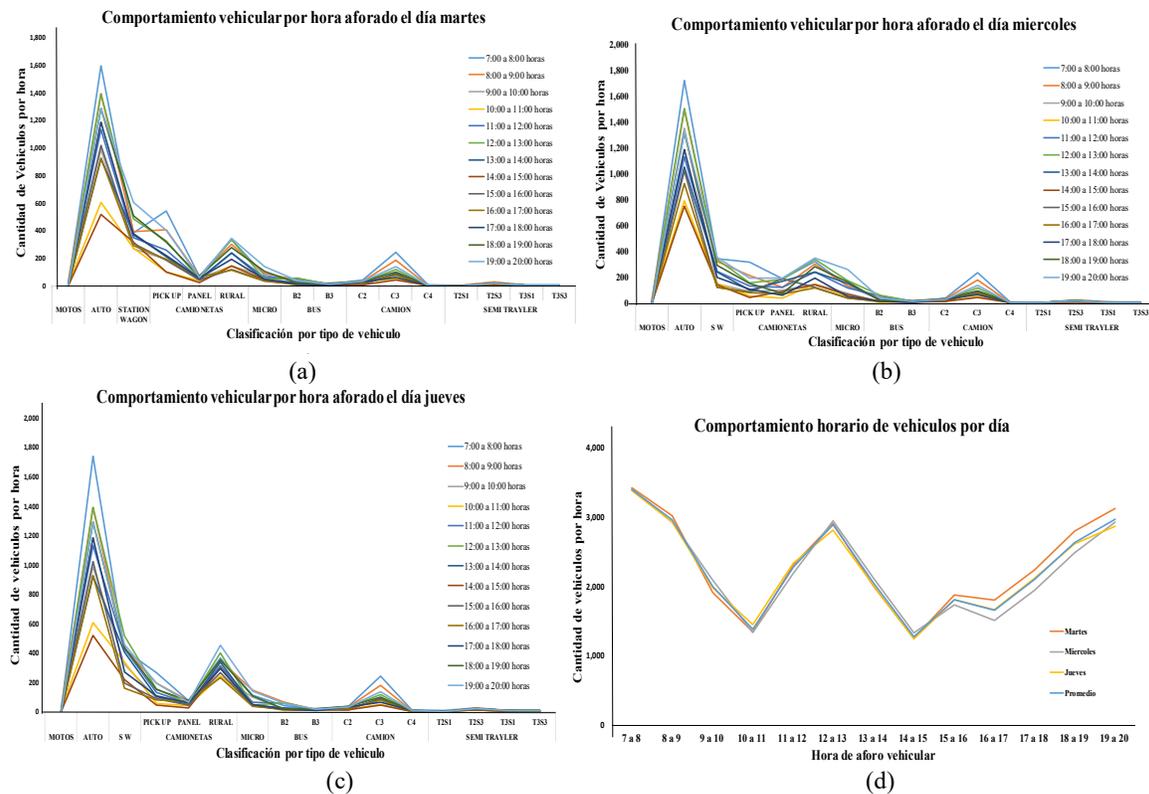


Figura 3: Comportamiento del aforo vehicular efectuado en la vía Panamericana Sur.

En la Tabla 2 se muestran los datos de los vehículos por hora en la intersección del nodo 3, en cada acceso y tipo de movimiento, calculados en la hora pico de 7:45 a 8:00 a.m. aforados cada 15 minutos en la dirección del flujo vehicular de N-S, S-N, E-W y W-E considerando el escenario actual y futuro. La información se ingresa al Synchro Trafficware considerando los datos de la geometría de la vía, los tiempos semafóricos, tipo de tránsito y otros definidos por el HCM 2010.

**TABLA 2 - VOLUMEN HORARIO EN HORA PICO EN LA INTERSECCIÓN NODO 3**

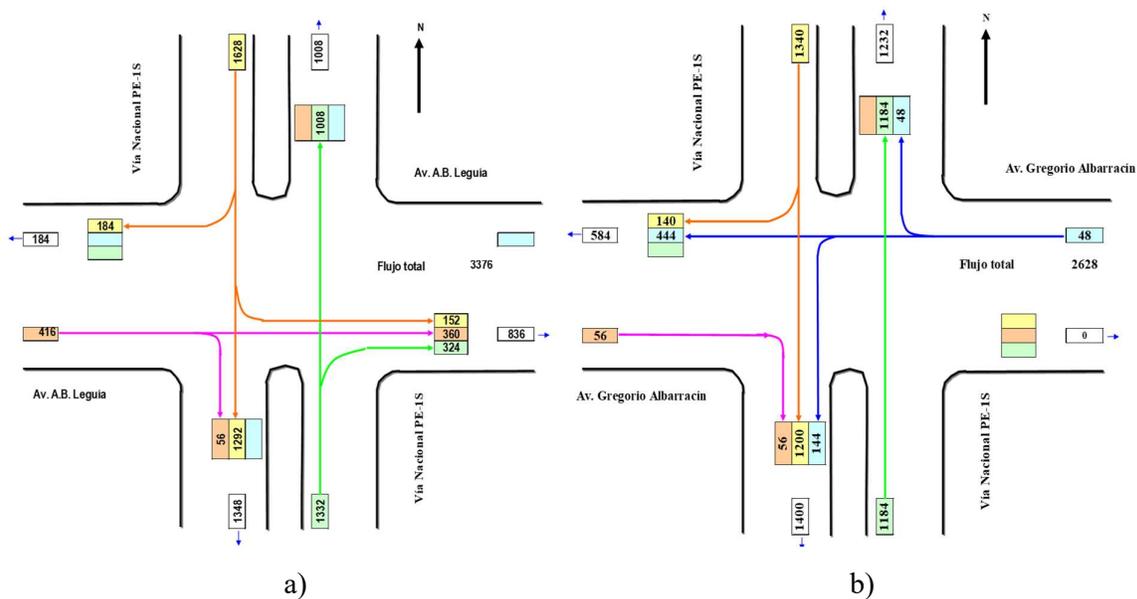
Av. Gregorio Albarracín	Hora de conteo		Vehículos livianos - Giros			Vehículos pesados - Giros		
	Inicio	Final	1 Izq.	2 De frente	3 Der.	1 Izq.	2 De frente	3 Der.
Dirección N – S	7:45 a. m.	8:00 a. m.	140	768	0	0	572	0
	Flujo proyectado para 20 años		6803	37317	0	0	14037	0
Dirección S -N	7:45 a. m.	8:00 a. m.	0	644	0	0	540	0
	Flujo proyectado para 20 años		0	31292	0	0	13252	0
Dirección E – W	7:45 a. m.	8:00 a. m.	144	420	32	0	24	16
	Flujo proyectado para 20 años		6997	20408	1555	0	1166	777
Dirección W – E	7:45 a. m.	8:00 a. m.	0	0	44	0	0	12
	Flujo proyectado para 20 años		0	0	2138	0	0	294

Para la intersección del nodo 6, la Tabla 3 muestra los datos de los vehículos por hora en cada acceso y tipo de movimiento, calculados en la hora pico de 7:45 a 8:00 a.m. aforados cada 15 minutos en la dirección del flujo vehicular de N-S, S-N, W-E y E-W, considerando el escenario actual y futuro. La información se ingresa al Synchro Trafficware considerando los datos de la geometría de la vía, los tiempos semafóricos, tipo de tránsito y otros definidos por el HCM 2010.

**TABLA 3 - VOLUMEN HORARIO EN HORA PICO EN LA INTERSECCIÓN NODO 6**

Av. Augusto B. Leguía	Hora de conteo		Vehículos livianos - Giros			Vehículos pesados - Giros		
	Inicio	Final	1 Izq.	2 Defrente	3 Der.	1 Izq.	2 Defrente	3 Der.
Dirección N - S	7:45 a. m.	8:00 a. m.	184	768	152	0	524	0
	Flujo proyectado para 20 años		8941	37317	7386	0	14037	0
Dirección S -N	7:45 a. m.	8:00 a. m.	164	644	0	160	364	0
	Flujo proyectado para 20 años		7969	31292	0	3926	8933	0
Dirección E - W	7:45 a. m.	8:00 a. m.	0	0	0	0	0	0
	Flujo proyectado para 20 años		0	0	0	0	0	0
Dirección W - E	7:45 a. m.	8:00 a. m.	84	340	44	0	20	12
	Flujo proyectado para 20 años		4082	16521	2138	0	491	294

En la Figura 4 se muestra el flujograma considerando el volumen vehicular aforado por cada ingreso y giro en la hora pico, definidos en vehículos por hora determinados en la Tabla 2 y 3, en las intersecciones Nodo 3 y Nodo 6 de la vía nacional PE-1S, la información definida para el Synchro Trafficware y consecuente microsimulación.



**Figura 4:** Flujograma de volumen vehicular por accesos, en el nodo 3(a) y nodo 6(b).

Los resultados de la determinación de los niveles de servicio por cada acceso e intersección, mediante el análisis de demoras, en un escenario actual, considerando la densidad de tráfico por cada acceso en horas de mayor concentración de flujos vehiculares, al mismo tiempo que se determina el factor de utilización de la capacidad, el grado de saturación del volumen sobre la capacidad y el tiempo de demora por cada intersección, son mostrados en la Tabla 4, observándose que se presentan niveles de servicio C y F.

Para un escenario futuro, los resultados de la determinación de los niveles de servicio por cada acceso e intersección, mediante el análisis de demoras, considerando la densidad de tráfico por cada acceso en horas de mayor concentración se muestran en la Tabla 5, donde la condición crítica se presenta a 20 años de proyección con niveles de servicio F.

**TABLA 4 - RESULTADO DE LOS NIVELES DE SERVICIO POR DEMORA EN UN ESCENARIO ACTUAL**

Escenario actual	Grado de saturación ratio v/c	Factor de utilización	Nivel de servicio por acceso	Demora total de la intersección (s)	Nivel de servicio (LOS) de la intersección
Intersección Av. G. Albarracín Nodo N° 3	1,26	74,24%	A	31,4	C
			A		
			C		
Intersección Av. A.B. Leguía Nodo N° 6	1,91	137%	F	267,5	F
			F		
			C		

**TABLA 5 - RESULTADOS DE LOS NIVELES DE SERVICIO POR DEMORA EN UN ESCENARIO FUTURO A 20 AÑOS**

Proyectado para 20 años	Grado de saturación ratio v/c	Factor de utilización	Nivel de servicio por acceso	Demora total de la intersección (s)	Nivel de servicio (LOS) de la intersección
Intersección Av. G. Albarracín Nodo N° 3	1,22	109,0%	F	81,7	F
			C		
			F		
Intersección Av. A.B. Leguía Nodo N° 6	2,00	110,3%	B	103,3	F
			F		
			C		

La Figura 5 muestra la microsimulación efectuada en un escenario actual (a) y en un escenario futuro (b), en función de los datos consignados en la configuración de los carriles, volumen de tráfico, geometría de la vía, giros por accesos, los nodos de las intersecciones y como resultado de ello mostramos la generación del modelamiento en 3D mediante el Synchro Trafficware, donde se observa una mayor congestión vehicular en un escenario futuro a 20 años, debido al incremento del transporte, cuyo nivel de servicio se califica como F.

Considerando el análisis de los escenarios actual y futuro, se realiza una propuesta de optimización de los niveles de servicio a fin de mejorar el flujo vehicular mediante microsimulación 3D en el Synchro Trafficware, considerando las características de la zona de estudio los cuales se muestran en la Figura 6 en la que se muestra como alternativa de solución incremento de un carril y carril exclusivo de giro a la derecha (a) y en (b) se muestra la microsimulación de la propuesta de mejora considerando el incremento de carril y carril exclusivo de giro a la derecha en la vía nacional PE-1S, con la finalidad de reducir la congestión vehicular en la zona de estudio.

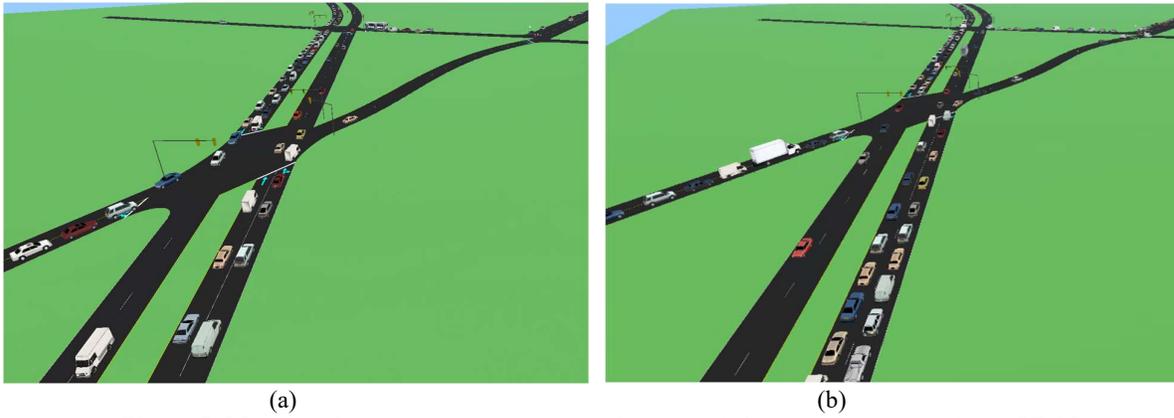


Figura 5: Microsimulación en un escenario actual y futuro de las intersecciones en la vía PE-1S.

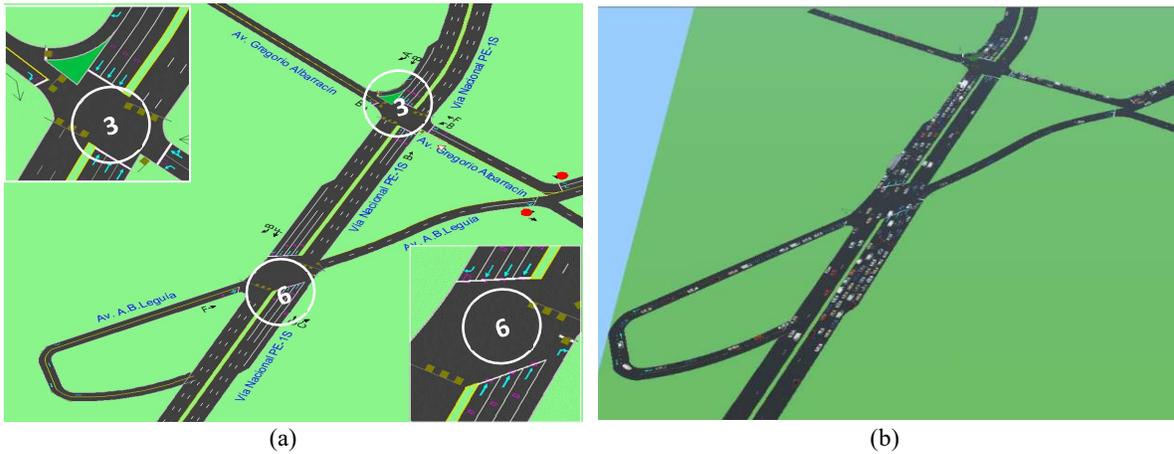


Figura 6: Propuesta de incremento de carril y giro exclusivo a la derecha en la vía PE-1S

Así mismo la Tabla 6, muestra los resultados de los niveles de servicio por cada acceso e intersección, mediante el análisis de demoras en la vía nacional PE-1S, de la alternativa de solución que consiste en el incremento de un carril y carril exclusivo de giro a la derecha en toda la vía nacional PE-1S, considerando la densidad de tráfico por cada acceso en horas de mayor concentración.

**TABLA 6 - RESULTADOS DE LOS NIVELES DE SERVICIO POR DEMORA DE LA PROPUESTA DE MEJORA**

Alternativas de solución (Incremento de carril, carril de giro exclusivo a la derecha)	Grado de saturación ratio v/c	Factor de utilización	Nivel de servicio por acceso	Demora total de la intersección (s)	Nivel de servicio (LOS) de la intersección
Intersección Av. G. Albarracín Nodo N° 3	1,22	85,4%	A	30,1	C
			B		
			B		
Intersección Av. A.B. Leguía Nodo N° 6	1,35	91,3%	B	75,3	D
			F		
			C		

En la Tabla 2 se muestra el flujo de tráfico durante la hora pico por hora en cada acceso y tipo de movimiento para los escenarios de evaluación en la intersección Nodo 3. Los datos fueron obtenidos durante el período de 7:45 a 8:00 a.m., que registró el mayor flujo de vehículos por hora en la dirección N-S, con un total de 1 480 vehículos. Se utilizó una tasa de crecimiento poblacional del 2,10% para proyectar los flujos durante los próximos 20 años, y se obtuvo un registro de

58 157 vehículos por hora durante el mismo intervalo de tiempo (7:45 a 8:00 a.m.). Este análisis permitió evaluar el Nivel de Servicio en dos escenarios: el actual y el futuro.

Además, en la Tabla 3 se presenta el volumen de tráfico durante la hora pico por hora en cada acceso y tipo de movimiento para los escenarios de evaluación en la intersección Nodo 6. Los datos fueron recopilados entre las 7:45 y las 8:00 a.m., y se registró el mayor flujo de vehículos por hora en la dirección N-S, alcanzando un total de 1 628 vehículos. Se utilizó una tasa de crecimiento poblacional del 2,10% para proyectar los flujos de tráfico durante los próximos 20 años, obteniendo un registro de 67 681 vehículos por hora en el mismo intervalo de tiempo (7:45 a 8:00 a.m.). La información permitió realizar el análisis del Nivel de Servicio en los dos escenarios: actual y futuro.

Las Tablas 2 y 3 presentan el análisis de dos escenarios en las intersecciones de la vía nacional PE-1S. En el escenario actual, se observa un flujo vehicular que oscila entre 1 480 y 1 628 vehículos por hora. Por otro lado, el escenario proyectado a 20 años muestra un flujo vehicular estimado entre 58 157 y 67 681 vehículos por hora. En ambos escenarios, los niveles de servicio no son adecuados, lo que demanda la búsqueda de alternativas de solución para garantizar flujos vehiculares fluidos y alcanzar un nivel de servicio A.

Al analizar la Tabla 4 en el *escenario actual* de la intersección del Nodo 3, se observa un Nivel C de servicio, con una demora de 31,4 segundos. Esta demora se encuentra dentro de los parámetros aceptables para el control de intersecciones. Sin embargo, el factor de utilización es del 74,24%, lo que indica que se está cerca del flujo crítico, faltando un 25,6% para alcanzarlo. Esta cercanía se confirma con el grado de saturación, donde la relación volumen/capacidad es de 1,26, superando la unidad y señalando la proximidad a la congestión vehicular. Por otro lado, en la intersección con el Nodo 6 se obtiene un Nivel F de servicio, con una demora de 267,5 segundos. Esta situación es inaceptable en términos de tiempo de demora. El factor de utilización es del 137%, lo que indica que se ha superado en un 37% su capacidad. En esta intersección se alcanza un flujo crítico total de congestión, confirmado por la relación volumen/capacidad de 1,91, lo que implica que el volumen de tráfico excede la capacidad de la vía nacional PE-1S.

El análisis de la Tabla 5 revela que, en el *escenario futuro* proyectado a 20 años, las intersecciones evaluadas presentarían los peores niveles de servicio, con una mayor concentración de flujos vehiculares. En la intersección del Nodo 3, se obtiene un Nivel F de servicio, con una demora de 81,7 segundos, lo que genera un alto nivel de incomodidad en la movilidad del tráfico. El factor de utilización es del 109,0%, superando en un 9% la capacidad permitida y alcanzando el flujo crítico. Esto se confirma con el grado de saturación, donde la relación volumen/capacidad es de 1,22, indicando que la capacidad vehicular de la intersección ha sido superada y se están generando índices de congestión vehicular. Del mismo modo, en el Nodo 6 se registran los valores máximos de demora, con un Nivel de Servicio F y una demora calculada de 103,3 segundos. El factor de utilización es del 110,3%, lo que implica un exceso del 10,3% en relación a su capacidad. Esto genera niveles de servicio desfavorables para los usuarios de la vía, provocando congestión total, demoras injustificadas, mayor incertidumbre en los horarios de llegada, estrés, mayor consumo de combustible y una alta concentración de emisiones. Estos hallazgos se confirman con la relación volumen/capacidad de 2,00, donde los valores del volumen de tráfico exceden la capacidad de la intersección con la vía nacional PE-1S.

Los niveles de servicio en términos de demora de la *propuesta de mejora* como alternativa de solución (Figura 6), que consiste en agregar un carril a la vía nacional PE-1S junto con un carril de giro exclusivo a la derecha, una adecuada sincronización de tiempos semafóricos y una señalización horizontal y vertical adecuada, se muestran en la Figura 6(a) a 20 años. En la intersección del Nodo 3, se obtiene un Nivel C de servicio con una demora de 30,1 segundos, lo cual se considera aceptable dentro de los parámetros de control en las intersecciones. Sin embargo, el factor de utilización es del 85,4%, indicando que se está cerca del flujo crítico, faltando un 14,6% para alcanzarlo. Esta cercanía se confirma con el grado de saturación, donde la relación volumen/capacidad es de 1,22, superando la unidad y señalando la proximidad a la congestión vehicular.

Por otro lado, en la intersección con el Nodo 6, la propuesta de mejora reporta un Nivel D de servicio, con una demora de 75,3 segundos, lo cual se considera aceptable en términos de tiempo de demora. El factor de utilización es del 91,3%, lo que indica que solo falta un 8,7% para alcanzar el flujo crítico. En esta intersección, se alcanza un flujo crítico total de congestión, lo cual se confirma con la relación volumen/capacidad de 1,35, indicando que el volumen de tráfico excede la capacidad y se acerca a la congestión en la vía nacional PE-1S. Se puede observar una mejora considerable en los volúmenes vehiculares, así como un aumento significativo en las velocidades y una disminución en las demoras en las intersecciones. Además, una propuesta más eficiente y costosa es construir un paso a desnivel en el lugar de estudio, el cual reporta un nivel de servicio A en todos los escenarios con la microsimulación en el Synchro Trafficware.

Los resultados obtenidos permiten analizar el Nivel de Servicio y la microsimulación de las intersecciones urbanas en la vía PE-1S, tanto en el escenario actual como en el futuro. En el escenario actual, se observan Niveles de Servicio C y F en ambas intersecciones, lo cual indica la presencia de congestión vehicular. Para el escenario futuro, se obtiene un Nivel

de Servicio F en ambas intersecciones, lo que confirma la proyección de mayores índices de congestión vehicular. Para el cual, la alternativa de solución planteada muestra mejoras en las velocidades y tiempos de demora, resultando en Niveles de Servicio C y D para ambas intersecciones. Estos resultados son consistentes con otros estudios realizados en Portoviejo, Ecuador [8], donde se identificó un Nivel de Servicio C con una demora de 33 segundos, lo cual indica una cercanía a ser considerado como Nivel de Servicio D. Por lo tanto, se recomienda la implementación de medidas de corrección de tráfico, ya que en el estudio se determinó un Nivel de Servicio F. Para alcanzar un Nivel de Servicio A o B, se requiere una propuesta de mejora adicional.

De manera similar, se observa concordancia con los resultados obtenidos en un estudio de simulación microscópica del tráfico realizado en Río de Janeiro [21]. Este estudio concluye que el grado de saturación es de 1 900 vehículos por hora, y la generación de volúmenes y su asignación en la malla de simulación se realiza de manera uniforme para los diferentes carriles, de acuerdo con el esquema de movimientos direccionales definido en la matriz de volúmenes, como se muestra en la Figura 5. Además, los resultados obtenidos en una investigación sobre las perspectivas de las repercusiones socioeconómicas de la congestión del tráfico en las zonas portuarias e industriales de la ciudad de Chittagong, Bangladesh [5], se relacionan con el presente estudio. Dicho estudio hace referencia al exceso de vehículos, la ineficacia del transporte público y las acciones de los operadores que generan congestión vehicular, estimando demoras en las intersecciones y un mayor consumo de combustible.

Además, se observa concordancia con un estudio realizado sobre la mejora de la intersección de Al-Rawad mediante el uso de tráfico sincronizado [22]. En dicho estudio, se obtuvo un Nivel de Servicio F en la intersección, con un elevado retraso de 155.4 segundos y una relación volumen-capacidad de 1.46. Para mejorar esta situación, se propusieron tres alternativas que implicaban modificaciones en la geometría de la vía, la temporización de los tiempos semafóricos y la señalización horizontal y vertical. Estas medidas lograron reducir el Nivel de Servicio de F a C, de manera similar a los resultados mostrados en nuestra Tabla 6. también, se encuentran similitudes con los resultados obtenidos en el estudio del tránsito vehicular en la autopista Gnrl. Rumiñahui [23], donde se realizó una microsimulación del tráfico vehicular en 3D utilizando Synchro Trafficware, de manera similar a lo presentado en la Figura 6(b) de nuestro estudio.

#### 4. CONCLUSIONES

La congestión vehicular se ha convertido en un problema de creciente gravedad en las grandes ciudades, especialmente cuando una carretera nacional atraviesa el centro urbano. Por tanto, resulta crucial analizar los problemas y explorar alternativas para prevenir la congestión. En este estudio, se llevó a cabo un análisis del Nivel de Servicio mediante la microsimulación de las intersecciones urbanas de la vía Panamericana Sur, específicamente la identificada como PE-1S, ubicada en la ciudad de Tacna, Perú. Los resultados obtenidos revelaron índices significativamente elevados de congestión vehicular.

Los escenarios actual y futuro se analizaron utilizando la metodología del HCM 2010 y el software Synchro Trafficware. En el escenario actual, se observaron niveles de servicio C y F, mientras que en el escenario futuro a 20 años se proyecta un nivel F, lo que implica un incremento en los tiempos de demora y la generación de altos índices de congestión vehicular. La propuesta de mejora incluye alternativas como el incremento de un carril y la adición de un carril exclusivo de giro a la derecha en la vía nacional PE-1S, lo cual ha demostrado niveles de mejora de C para el Nodo 3 y D para el Nodo 6, mejorando significativamente la velocidad y los tiempos de demora en las intersecciones. Sin embargo, la construcción de un paso a desnivel se considera la solución más efectiva, aunque también costosa, ya que reporta un nivel de servicio A en todos los escenarios analizados.

Existen otras alternativas para fomentar el flujo libre, reducir los tiempos de demora y mejorar el nivel de servicio, como se ha demostrado en el análisis del paso a desnivel de la vía nacional PE-1S. Como proyecto futuro, se recomienda ampliar la zona de estudio utilizando nuevos criterios de análisis y herramientas de simulación avanzadas como Paramics, Aimsun y Vissim PTV, con el objetivo de abordar y reducir el alto índice de congestión vehicular. El análisis del Nivel de Servicio y la microsimulación llevada a cabo en este estudio se plantea como una valiosa herramienta para los ingenieros civiles, proporcionándoles información precisa para gestionar eficientemente el volumen de tráfico en una vía de alta congestión vehicular.

#### AGRADECIMIENTO

Este proyecto fue desarrollado gracias al financiamiento de la **Universidad Privada de Tacna** por el apoyo e incentivo para el fortalecimiento de la investigación mediante el acompañamiento a la publicación de artículos científicos.

## REFERENCIAS

- [1] K.M. Almatar y A.I. Almulhim. "The issue of urban transport planning in Saudi Arabia: Concepts and future challenges," *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 16, no. 7, pp. 1317-1327, 2021. DOI: 10.1016/j.asej.2022.101886.
- [2] E. Da Costa, X. Qu, y P. Parajuli. "A Crash Severity-Based Black Spot Identification Model," *Journal of Transportation Safety & Security*, vol. 7, no. 3, pp. 268-277, 2015. DOI: 10.1080/19439962.2014.911230.
- [3] K. Almatar. "Traffic congestion patterns in the urban road network: (Dammam metropolitan area)," *Ain Shams Engineering Journal*, no. 101886, 2022. DOI: 10.1016/j.asej.2022.101886.
- [4] A. Bigazzi y K. Clifton. "Modeling the effects of congestion on fuel economy for advanced power train vehicles," *Transportation Planning and Technology*, vol. 38, no. 2, pp. 149-161, 2015. DOI: 10.1080/03081060.2014.997449.
- [5] A. Fattah, R. Morshed y A. Al Kafy. "Insights into the socio-economic impacts of traffic congestion in the port and industrial areas of Chittagong city, Bangladesh," *Transportation Engineering*, vol. 9, no. 100122, 2022. DOI: 10.1016/j.treng.2022.100122.
- [6] A. Severino, G. Pappalardo, I. Oyeyemi, A. Canale y T. Campisi. "Evaluation of the environmental impacts of bus rapid transit system on turbo roundabout," *Transportation Engineering*, vol. 9, no. 100130, 2022. DOI: 10.1016/j.treng.2022.100130.
- [7] B. Posigua-Gines, F. Pico-Parraga y J. García-Vinces. "Análisis y evaluación del tránsito entre las avenidas América y Ejército, Portoviejo-Manabí," *Polo del conocimiento*, vol. 7, no. 3, pp. 966-980, 2022. DOI: 10.23857/pc.v7i3.3772.
- [8] J. Vera, J. Loor, E. Ortiz-Hernández y D. Delgado. "Análisis del nivel de servicio en la intersección de las avenidas Manabí y América, Portoviejo, Ecuador," *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología*, vol. 6, no. 2, pp. 29-42, 2021. DOI: 10.33936/riemat.v6i2.4287.
- [9] CU. Available: <https://opecu.org.pe/2015/08/19/en-250-puntos-criticos-de-lima-y-callao-el-50-de-zonas-sin-iforos-53-de-pistas-con-baches-y-grietas-y-46-de-cruceiros-peatonales-sin-senalizacion/>. Fecha de consulta: 2 to 2022. URL: <https://opecu.org.pe>
- [10] I. Thomson y A. Bull. "La Congestión del tránsito urbano: Causas y consecuencias económicas y sociales". *Comisión Económico para América Latina y el Caribe*, vol. 76, no. Abril 2002, pp. 109-121, 2002. DOI: 10.18356/fd4a1f83-es.
- [11] J. Ortuzar y L. Willumsen. *Modelos de Transporte*, España: Universidad de Cantabria, 2008. ISBN: 978-84-8102-512-5.
- [12] R. Cal y Mayor y J. Cárdenas. *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*, Mexico: alfaomega Grupo Editor, S.A., de C.V., 2007. ISBN: 978-607-538-217-3.
- [13] K. Uddin, A. Piracha y P. Phibbs. "A tale of two cities: Contemporary urban planning policy and practice in Greater Sydney, NSW, Australia," *Cities*, vol. 123, 2022. DOI: 10.1016/j.cities.2022.10358.
- [14] J. Lee y Y. Yoon. "Indicators development to support intelligent road infrastructure in urban cities," *Transport Policy*, vol. 114, pp. 252-265, 2021. DOI: 10.1016/j.tranpol.2021.10.009.
- [15] K. Castañeda, O. Sánchez, R. Herrera y G. Mejía. "Tendencias de planificación de carreteras: un análisis bibliométrico," *Sostenibilidad*, vol. 14, no. 9, 2022. DOI: 10.3390/su14095544.
- [16] A. Bjørgen y M. Ryghaug. "Integration of urban freight transport in city planning: Lesson learned," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 107, no. 103310, 2022. DOI: 10.1016/j.trd.2022.103310.
- [17] F. Jiang, L. Ma, T. Broyd, W. Chen y H. Luo. "Digital twin enabled sustainable urban road planning," *Sustainable Cities and Society*, vol. 78, no. 103645, 2022. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103645.
- [18] HCM, HCM 2010 Highway Capacity Manual, Washington DC: Transportation Research Board publications, 2010. ISBN: 978-0-309-16077-3.
- [19] Synchro-Trafficware, Synchro Estudio 8 Guía del Usuario, Estados Unidos de America: United States of America, Universidad de Florida, Texas Transportatio, 2011. ISBN: 0-9742903-3-5.
- [20] O. Santos-Pérez, H. Morciego, R. Moll, M. Marqués y D. Nogueira. "Análisis integral de los componentes del sistema vial que inciden en la accesibilidad y movilidad de zonas patrimoniales," *Revista de obras públicas*, vol. 167, no. 20, pp. 25-35, 2020. ISSN: 0034-8619.
- [21] J. Montenegro y A. Lozano. "Simulación Microscópica del Tránsito," in *13th World Conference on Transport Research, July 15-18*, Río de Janeiro, 2013. ISBN: 9788528502329.
- [22] H. Mohammed y M. Ali Yousif. "Enhancement of Al-Rawad intersection by using synchro traffic," *Materials Today: Proceedings*, 2021. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.03.111.

- [23] D. Carrillo, C. Sánchez y O. Padilla. "Visualización del tránsito vehicular e identificación de puntos de conflicto a lo largo de un tramo de la autopista Gnrl Rumiñahui," *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, vol. 1, no. 3, pp. 29 - 34, 2016. ISSN: 2477-9253.