

# Application of the On Demand system for vehicular decongestion of an avenue in an urban area with high trafficability

Cabrera Duran, Vladimir Eduardo <sup>1</sup>, Salcedo Bustamante, Luis Fernando <sup>2</sup>, Ing. Bravo Lizano, Aldo Rafael <sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201924069@upc.edu.pe, u201923421@upc.edu.pe,  
aldo.bravo@upc.pe

*Abstract— It is known that traffic congestion is a major problem that affects various countries. In this way, multiple solutions have been proposed with the aim of reducing this problem. However, they have not been able to mitigate this phenomenon. Due to this, this article presents a proposed solution to the aforementioned problem in order to reduce traffic congestion and improve the passability of an avenue in an urban area without the need to invest large amounts of money as is the case of the construction of road infrastructure. The proposal is based on implementing the On Demand transportation system, which consists of shared taxis that circulate through alternative routes that have been analyzed considering the existing vehicle congestion on the road to be implemented. Likewise, a van-type vehicle fleet was considered with the objective of using the maximum capacity of the vehicles and satisfying the users who travel through the area. In fact, this proposal was simulated using the Synchro 8 software in one of the most congested avenues in the city of Lima, Peru and good results were obtained, with respect to the indicators that were evaluated according to the HCM 2010, which are the following: Delays, level of service and intersection capacity utilization (ICU). The evaluation of the proposal indicates a reduction of more than 50% in vehicle delays, improvements in service levels, of which the most notable was moving from level F to C, and with respect to the ICU level, a 15% decrease. In this way, it is verified that the application of the On Demand transportation system reduces vehicle congestion on the analyzed road, this is evident when comparing the results obtained with those of the current situation.*

*Keywords— Traffic congestion, On Demand transportation, shared taxis, alternative routes, mesoscopic model.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Aplicación del sistema On Demand para la descongestión vehicular de una avenida en una zona urbana de alta transitabilidad

Cabrera Duran, Vladimir Eduardo <sup>1</sup>, Salcedo Bustamante, Luis Fernando <sup>2</sup>, Ing. Bravo Lizano, Aldo Rafael <sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201924069@upc.edu.pe, u201923421@upc.edu.pe, aldo.bravo@upc.pe

**Abstract**— It is known that traffic congestion is a major problem that affects various countries. In this way, multiple solutions have been proposed with the aim of reducing this problem. However, they have not been able to mitigate this phenomenon. Due to this, this article presents a proposed solution to the aforementioned problem in order to reduce traffic congestion and improve the passability of an avenue in an urban area without the need to invest large amounts of money as is the case of the construction of road infrastructure. The proposal is based on implementing the On Demand transportation system, which consists of shared taxis that circulate through alternative routes that have been analyzed considering the existing vehicle congestion on the road to be implemented. Likewise, a van-type vehicle fleet was considered with the objective of using the maximum capacity of the vehicles and satisfying the users who travel through the area. In fact, this proposal was simulated using the Synchro 8 software in one of the most congested avenues in the city of Lima, Peru and good results were obtained, with respect to the indicators that were evaluated according to the HCM 2010, which are the following: Delays, level of service and intersection capacity utilization (ICU). The evaluation of the proposal indicates a reduction of more than 50% in vehicle delays, improvements in service levels, of which the most notable was moving from level F to C, and with respect to the ICU level, a 15% decrease. In this way, it is verified that the application of the On Demand transportation system reduces vehicle congestion on the analyzed road, this is evident when comparing the results obtained with those of the current situation.

**Keywords**— Traffic congestion, On Demand transportation, shared taxis, alternative routes, mesoscopic model.

**Resumen**— Se sabe que la congestión vehicular es un gran problema que afecta a diversos de países. De esta manera, se han planteado múltiples soluciones con el objetivo de reducir esta problemática. Sin embargo, estas no han podido mitigar este fenómeno. Debido a esto, en el presente artículo se presenta una propuesta de solución al problema mencionado con el fin de reducir la congestión vehicular y mejorar la transitabilidad de una avenida en una zona urbana sin necesidad de invertir grandes montos de dinero como es el caso de la construcción de infraestructuras viales. La propuesta se basa en implementar el sistema de transporte On Demand, el cual consta de taxis compartidos que circulan mediante rutas alternas que han sido analizadas considerando la congestión vehicular existente en la vía a implementar. Asimismo, se consideró una flota vehicular del tipo furgoneta con el objetivo de utilizar la capacidad máxima de los vehículos y satisfacer a los usuarios que transitan por la zona. En efecto, se simuló dicha propuesta mediante el software Synchro 8 en una de las avenidas más congestionadas de la ciudad de Lima, Perú y se obtuvo buenos resultados, con respecto a los indicadores que fueron evaluados según el HCM 2010, los cuales son los siguientes:

*Demoras, nivel del servicio y la utilización de la capacidad de la intersección (ICU). La evaluación de la propuesta indica una reducción del más del 50% en las demoras de los vehículos, mejoras en los niveles de servicio, las cuales la más resaltante fue pasar de nivel F a C, y con respecto al nivel ICU, se obtuvo una disminución del 15%. De esta manera, se verifica que la aplicación del sistema de transporte On Demand reduce la congestión vehicular en la vía analizada, esto se evidencia al comparar los resultados obtenidos con los de la situación actual.*

**Palabras Claves**— Congestión vehicular, transporte On Demand, taxis compartidos, rutas alternas, modelo mesoscópico.

## I. INTRODUCCIÓN

La congestión vehicular es un escenario en el cual se presentan una gran cantidad de vehículos y estos se encuentran circulando lentamente o, en determinadas ocasiones, detenidos por completo. Este problema se encuentra asociado con la relación que existe entre la demanda y la capacidad vehicular de una vía. De esta manera, Bull [1] menciona que al presentarse una situación en donde la demanda supera a la capacidad, se generan diversos problemas, tales como demoras en los tiempos de viaje, cuellos de botella, accidentes de tránsito, mayor consumo de combustible, etc.

Por un lado, una de las causas que generan este fenómeno se encuentran reflejadas en el incremento de la cantidad de vehículos. En efecto, de acuerdo con el informe realizado por la Comunidad Andina [2], el Perú registró un incremento del 9 % en la adquisición de vehículos, superando a los otros países que conforman dicha comunidad.

Por otro lado, según Asociación Automotriz del Perú [3], una de las consecuencias es la pérdida de aproximadamente 11 millones de soles en el 2022 a causa de las demoras ocasionadas por la congestión vehicular. Es importante mencionar que según Traffic Index 2023 [4] se presentaron datos relacionados al Perú, ya que la ciudad de Lima es la localidad que presenta mayor congestión vehicular de toda América Latina.

De este modo, algunos autores han realizado diversas investigaciones para tratar de mitigar el problema de la congestión vehicular con diferentes métodos, dentro de estos se encuentra el implemento de los sistemas de transporte compartido, los cuales presentan como principal objetivo reducir la cantidad de vehículos que circulan por las vías. En efecto, se plantearon mejoras en este sistema, las cuales se pueden dividir en dos métodos: La optimización de recorridos en modelos de

transporte On Demand y la mejora en la coincidencia de los viajes compartidos On Demand entre usuarios mediante rutas.

El primer método trató de mejorar el sistema de transporte On demand con la implementación de un adecuado enrutamiento y gestión de las flotas vehiculares. En ese sentido, Kohan & Ale [5] desarrollaron un modelo con tres parámetros que permitieron registrar las situaciones de congestión vehicular para detectar los patrones de trayectorias y así determinar las posibles rutas alternas a las vías más congestionadas.

De igual manera, Alisolani et al. [6], plantearon un método de agrupamiento, el cual considera un sistema que administre la flota vehicular para lograr satisfacer a la demanda de los servicios de transporte compartidos. En ese sentido, con el método propuesto se demostró que la velocidad media se aumentó en 15% de los vehículos al optimizar los recorridos de los viajes en los modelos on demand.

Siguiendo la misma línea, Zhou y Roncoli [7] desarrollaron dos estudios, en los cuales utilizan un algoritmo con un sistema que considera rutas alternativas en tiempo real y se encuentran en función a la congestión vehicular. Con el algoritmo propuesto, se evidencia una reducción de los tiempos recorridos en el transporte On demand, lo cual hace referencia a una mejora en la calidad de servicio que presta este sistema de transporte.

El segundo método se basó en desarrollar diferentes algoritmos, los cuales presenten la capacidad de contribuir en la máxima utilización de asientos de los vehículos del sistema de transporte On demand. Esto, con la coincidencia de viajes compartidos entre los usuarios a través de rutas alternas y así reducir la circulación de vehículos livianos, generando alivio en la congestión vehicular.

De este modo, Li [8] al igual que Aydin [9] realizaron un estudio, el cual analizaba la obtención de las rutas más adecuadas, considerando la congestión vehicular presente en la zona. Adicional a ello, para el emparejamiento de servicios, consideraron factores sociales. De esta manera, obtuvieron que es posible obtener un aumento en la utilización de los asientos de los transportes On Demand, lo cual implica la implementación de dicho sistema de transporte genera un alivio en el tráfico vehicular.

Asimismo, Meshkani & Farooq [10] proporcionaron un programa que constó en determinar la probabilidad de coincidencia de rutas entre los usuarios, considerando aspectos externos como temporales y espaciales. En efecto, luego de evaluar su propuesta mediante una simulación, lograron obtener una disminución en los tiempos de demora en el tráfico, los cuales se redujeron en 4%.

Por lo tanto, a diferencia de los estudios previos, los cuales sólo se basan en la aplicación y mejora del sistema de transporte On demand, mediante el enrutamiento y su flota vehicular, se propone aplicar dicho sistema de transporte adicionando una mejora en el ciclo semafórico, debido a la variación del flujo que se genera al implementar dicha propuesta para reducir las

demoras de los usuarios y mejorar el nivel de servicio de las intersecciones que comprende una avenida.

## II. HERRAMIENTAS Y MÉTODOS

La aplicación de un sistema de transporte, como el On demand, se ejecuta en base a una metodología para un adecuado funcionamiento. Dicha metodología es HCM 2010 [11], la cual analiza el desarrollo en carreteras y vías urbanas, considerando ciertos indicadores que miden la capacidad vial y el nivel de servicio cuando se requiere realizar y verificar un nuevo diseño.

En efecto, para comprobar nuevos modelos se necesita realizar una simulación que permita adecuar los parámetros de diseño. En ese sentido, uno de los softwares que ejecuta una simulación en base al HCM 2010 es Synchro 8. Este software interactivo simula y optimiza redes de tráfico para agilizar la circulación vehicular con el propósito de reducir la congestión vehicular. Asimismo, Trafficware [12] menciona que Synchro 8 permite analizar las intersecciones de una vía de forma individual y cuando se modifica los datos de entrada, los resultados se actualizan de manera automática

Los valores de entrada que utiliza el software Synchro 8 son los siguientes:

- Configuración del carril
  - Movimiento de vehículos
  - Número de carriles
  - Ancho de carril
  - Velocidad promedio de los vehículos
  - Pendiente de accesos
- Configuración de volumen
  - Volumen de tráfico vehicular
  - Factor de Hora Pico (FHP)
  - Porcentaje de vehículos pesados
  - Bloqueo de buses
- Configuración de tiempo
  - Tiempos de fase del semáforo

Por consiguiente, los valores de salida que proporciona el software Synchro 8 son los siguientes:

- Nivel de servicio de la vía
- Grado de saturación
- Demoras en las intersecciones
- Nivel de servicio ICU

Otra herramienta importante y que sirve como dato de entrada para el Synchro 8 es el aforo vehicular, el cual registra la cantidad de vehículos que pasan por las vías en un tiempo determinado. Asimismo, la medición del aforo vehicular que permite contabilizar y reconocer las características de las vías se realizan a través de las grabaciones de vídeo. Este método de

aforo facilita el conteo y clasificación vehicular por acceso de las intersecciones en cualquier zona urbana. De esta manera, se contabiliza la cantidad de vehículos que servirán como dato de entrada principal de una simulación.

### III. METODOLOGÍA

La propuesta consiste en implementar un sistema de transporte, el cual esté en funcionamiento con vehículos de tipo furgoneta. Estos utilizados como taxis compartidos movilizándose mediante rutas alternas proporcionadas por una central, la cual evalúa el tráfico vehicular existente en las avenidas de la ciudad en donde esté aplicado el sistema. Asimismo, proporciona una adecuada seguridad para los usuarios gracias a su estricta selección de conductores. En efecto, a continuación, se detallan los procesos que se necesita para llevar a cabo la propuesta mencionada anteriormente.

Para implementar dicho sistema se debe evaluar el volumen vehicular para conocer la situación actual de la zona, mediante una simulación mesoscópica. Asimismo, se debe analizar la demanda de usuarios que existen en la vía. De esta manera, se observa a los transeúntes que se encuentran en los paraderos de los sistemas de transportes existentes en la zona a implementar el sistema On Demand. En base a ello, evaluar la capacidad de los vehículos y proponer una flota vehicular adecuada, la cual pueda satisfacer la demanda existente en la zona.

Asimismo, para obtener las rutas alternas mencionadas, se debe evaluar la zona en donde se implementa la propuesta. De este modo, es necesario reconocer las calles paralelas y aledañas a la vía, las cuales se analizan mediante aplicativos, tales como Waze, Google Maps, etc. Esto con el objetivo de determinar las rutas más adecuadas, las cuales no deben perjudicar las condiciones iniciales de las calles por donde circule la flota vehicular planteada. Finalmente, se realiza un nuevo ordenamiento del flujo vehicular, debido a los cambios que se efectuaron.

Por consiguiente, en la figura 1 se presenta el flujograma con los pasos a seguir para poder llevar a cabo lo mencionado anteriormente.

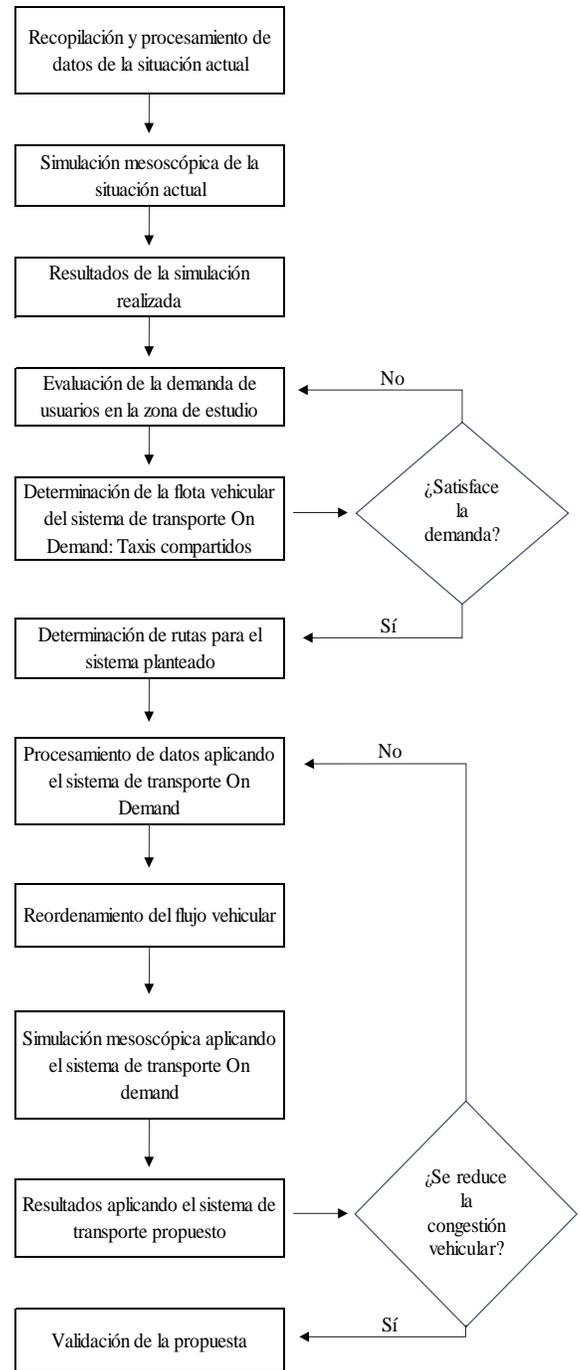


Fig. 1. Proceso para implementar la propuesta de solución

### IV. RESULTADOS

Un ejemplo de aplicación de la propuesta de solución se llevó a cabo en una de las avenidas que presenta mayor congestión vehicular en la ciudad de Lima, Perú según Fuentes [13]. Lo mencionado anteriormente hace referencia a la avenida Javier Prado. De esta manera, se evaluó un tramo, el cual está

comprendido desde la Calle Francisco Masías hasta la avenida Arequipa, tal como lo muestra la figura 2. Es importante mencionar que dicho tramo se encuentra conformado por tres intersecciones, las cuales serán mencionadas posteriormente.



Fig. 2. Zona de estudio de Av. Javier Prado que está comprendido desde la calle Francisco Masías hasta la Av. Arequipa

#### A. Recopilación y procesamiento de datos de la situación actual

Para la recolección de datos de la zona de estudio, se utilizó las grabaciones de las cámaras de videovigilancia proporcionadas por la Municipalidad de San Isidro, distrito en donde se encuentra el tramo analizado. Asimismo, se realizó un reconocimiento de la zona de estudio para ejecutar algunas mediciones de campo, tales como anchos de carril, señalizaciones y las duraciones de los ciclos semafóricos de las tres intersecciones que conforman el tramo de vía. De esta manera, para calcular el aforo vehicular se determinó la hora pico para la intersección principal, la cual fue de 7:30 a 8:30 am en un día típico de la semana. De esta manera, la tablas I, II y III muestran el aforo vehicular en la hora pico para cada intersección.

TABLA I.  
AFORO VEHICULAR EN LA INTERSECCIÓN N° 1

Hora	Av. Rivera Navarrete y la Av. Javier Prado Este			
	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	TOTAL
7:30-7:45	1075	317	994	<b>2386</b>
7:45-8:00	1043	348	984	<b>2375</b>
8:00-8:15	1072	280	967	<b>2319</b>
8:15-8:30	1092	338	990	<b>2420</b>

TABLA II.  
AFORO VEHICULAR EN LA INTERSECCIÓN N° 2

Hora	Av. Paseo Parodi y la Av. Javier Prado Este				
	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4	TOTAL
7:30-7:45	190	1021	43	912	<b>2166</b>
7:45-8:00	243	1007	53	912	<b>2215</b>
8:00-8:15	256	993	55	926	<b>2230</b>
8:15-8:30	228	1021	75	887	<b>2211</b>

TABLA III.  
AFORO VEHICULAR EN LA INTERSECCIÓN N° 3

Hora	Av. Petit Thouars y la Av. Javier Prado Este			
	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	TOTAL
7:30-7:45	205	870	902	1977
7:45-8:00	162	924	955	2041
8:00-8:15	190	924	891	2005
8:15-8:30	232	894	889	2015

Además, para introducir todos los datos al software de la situación actual fue necesario determinar y evaluar los datos de entrada que utiliza el Synchro 8, los cuales son mencionados en el capítulo II del presente artículo. En efecto, en las tablas IV, V, VI y VII se evidencian estos datos.

TABLA IV.  
DATOS DE ENTRADA PARA LA INTERSECCIÓN N° 1

Datos de entrada	Av. Javier Prado Este con Navarrete					
	→		↓		←	
	Directo	Derecha	Izquierda	Directo	Derecha	Directo
Volumen de tráfico (vph)	3981	301	478	792	13	3935
Ancho de carril (m)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Velocidad (km/h)	44	44	44	44	44	44
Pendiente (%)	2	2	-2	-2	-2	-2
Factor de Hora Pico	0.98	0.85	0.91	0.91	0.54	0.99
Vehículos pesados	2%	0%	1%	1%	0%	1%
Bloqueo de buses (Nro/hr)	25	0	0	2	0	21

TABLA V.  
DATOS DE ENTRADA PARA LA INTERSECCIÓN N° 2

Datos de entrada	Av. Javier Prado Este con Paseo Parodi				
	↓			←	
	Izquierda	Directo	Derecha	Directo	Derecha
Volumen de tráfico (vph)	435	455	27	3795	247
Ancho de carril (m)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Velocidad (km/h)	44	44	44	44	44
Pendiente (%)	-2	-2	-2	-2	-2
Factor de Hora Pico	0.88	0.84	0.68	0.98	0.81
Vehículos pesados	2%	9%	26%	2%	1%
Bloqueo de buses (Nro/hr)	2	17	4	24	1

TABLA VI.  
DATOS DE ENTRADA PARA LA INTERSECCIÓN N° 2

Datos de entrada	Av. Javier Prado Este con Paseo Parodi				
	↑			→	
	Izquierda	Directo	Derecha	Directo	Derecha
Volumen de tráfico (vph)	48	141	37	3582	55
Ancho de carril (m)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Velocidad (km/h)	44	44	44	44	44
Pendiente (%)	-2	-2	-2	2	2
Factor de Hora Pico	0.52	0.86	0.84	0.99	0.65
Vehículos pesados	0%	21%	0%	2%	0%
Bloqueo de buses (Nro/hr)	0	15	0	21	0

TABLA VII.  
DATOS DE ENTRADA PARA LA INTERSECCIÓN N° 3

Datos de entrada	Av. Javier Prado Este con Petit Thouars					
	↑		→		←	
	Izquierda	Directo	Derecha	Directo	Directo	Derecha
Volumen de tráfico (vph)	143	621	25	3612	3255	382
Ancho de carril (m)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Velocidad (km/h)	44	44	44	44	44	44
Pendiente (%)	-2	-2	-2	2	-2	-2
Factor de Hora Pico	0.79	0.82	0.78	0.98	0.97	0.85
Vehículos pesados	5%	8%	0%	2%	3%	3%
Bloqueo de buses (Nro/hr)	0	12	0	22	26	4

### B. Simulación mesoscópica de la situación actual

La construcción de la simulación mesoscópica se realiza en el software Synchro 8. El proceso inicia con la importación del mapa de la zona de estudio, el cual se obtuvo del software Google Earth Pro y luego se procede a escalarlo según la distancia horizontal de la vía. Después, se realiza la construcción de las intersecciones con las características principales como maniobras, ancho y cantidad de carriles. Una vez construida la red vial, se procede a colocar el volumen vehicular en cada acceso, las velocidades promedio de los vehículos, el factor de hora pico, porcentaje de vehículos pesados y bloqueo de buses. La figura 3, muestra el modelo de simulación mesoscópica de la situación actual.



Fig. 3. Simulación mesoscópica en la intersección principal

### C. Resultados de la simulación realizada: Situación actual

Luego de finalizar la simulación mesoscópica con los datos iniciales de la situación actual, Synchro 8 proporciona los resultados del estado de la vía a través de los indicadores. En la figura 4, 5 y 6 se observa el nivel de servicio, las demoras y el nivel de servicio ICU respectivamente.



Fig. 4. Resultados del nivel de servicio para cada intersección



Fig. 5. Resultados de las demoras de cada intersección



Fig. 6. Resultados de nivel de servicio ICU de cada intersección

### D. Evaluación de la demanda de usuarios en la zona de estudio

Para determinar la demanda existente en la zona de estudio se realizó diversas visitas para comprender el flujo de personas que transitan por las avenidas involucradas en el área estudiada y así proponer un sistema de transporte adecuado. De esta manera, al haber propuesto un nuevo servicio de automóviles, se procedió a analizar las colas que se generaban en la hora pico del tramo de la avenida Javier Prado por la espera al sistema de transporte público existente en la vía, el cual es el Corredor Rojo, ver figura 7.



Fig. 7. Colas generadas en la hora pico de la zona de estudio

Debido a esto, mediante un conteo peatonal en los paraderos del sistema mencionado anteriormente, se calculó la cantidad de usuarios en espera que presentan disponibilidad para utilizar el sistema de transporte On Demand, los cuales se observan en la tabla VIII.

TABLA VIII.  
DEMANDA EXISTENTE EN EL TRAMO ANALIZADO

Sentido	Nro. De personas
Este – Oeste	490
Oeste - Este	490

#### E. Determinación de la flota vehicular del sistema de transporte On Demand: Taxis compartidos

Para determinar la flota vehicular que pueda satisfacer la demanda existente, se debe conocer la capacidad de los vehículos con los cuales se implementará el sistema de transportes On demand. En este caso, se planteó el uso de automóviles de 7 asientos. De esta manera, considerando los valores anteriormente presentados, en la tabla IX se precisa la flota vehicular que se implementó para la propuesta.

TABLA IX.  
FLOTA VEHICULAR DEL SISTEMA DE TRANSPORTE ON DEMAND

Sentido	Nro. De vehículos
Este – Oeste	70
Oeste - Este	70

#### F. Determinación de las rutas para el sistema planteado

Después de evaluar diversas rutas, mediante visitas y con el apoyo del programa Google Maps, se seleccionó las mejores rutas para la situación analizada. Es importante mencionar que estas evitan transitar por el tramo de la avenida en análisis con el fin de reducir su congestión vehicular. Además, se evaluó que dichas rutas no afectan el flujo vehicular de las calles por donde circulará el sistema de transporte On Demand. De esta manera, en las figuras 8 y 9 se presentan las rutas que fueron

implementadas en el sistema de transporte On Demand propuesto para los sentidos E - O y O - E, respectivamente.



Fig. 8. Ruta en el sentido Este – Oeste



Fig. 9. Ruta en el sentido Oeste – Este

#### G. Procesamiento de datos aplicando el sistema de transporte On Demand

En base a los datos determinados anteriormente, se modifica los datos de entrada iniciales para contar con las nuevas consideraciones y así poder simular la propuesta. Lo mencionado anteriormente, se visualiza en la tabla X, XI, XII y XIII.

TABLA X.  
DATOS DE ENTRADA PARA LA INTERSECCIÓN N° 1

Datos de entrada	Av. Javier Prado Este con Navarrete					
	→	↓	←	→	↓	←
	Directo	Derecha	Izquierda	Directo	Derecha	Directo
Volumen de tráfico (vph)	3911	301	548	792	13	3865
Ancho de carril (m)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Velocidad (km/h)	44	44	44	44	44	44
Pendiente (%)	2	2	-2	-2	-2	-2
Factor de Hora Pico	0.98	0.85	0.91	0.91	0.54	0.98
Vehiculos pesados	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bloqueo de buses (Nro/hr)	15	0	0	2	0	5

TABLA XI.  
DATOS DE ENTRADA PARA LA INTERSECCIÓN N° 2

Datos de entrada	Av. Javier Prado Este con Paseo Parodi				
	↓			←	
	Izquierda	Directo	Derecha	Directo	Derecha
Volumen de tráfico (vph)	435	455	27	3725	247
Ancho de carril (m)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Velocidad (km/h)	44	44	44	44	44
Pendiente (%)	-2	-2	-2	-2	-2
Factor de Hora Pico	0.88	0.84	0.68	0.98	0.81
Vehículos pesados	0%	0%	0%	0%	0%
Bloqueo de buses (Nro/hr)	2	17	4	7	1

TABLA XII.  
DATOS DE ENTRADA PARA LA INTERSECCIÓN N° 2

Datos de entrada	Av. Javier Prado Este con Paseo Parodi				
	↑			→	
	Izquierda	Directo	Derecha	Directo	Derecha
Volumen de tráfico (vph)	48	141	37	3512	55
Ancho de carril (m)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Velocidad (km/h)	44	44	44	44	44
Pendiente (%)	-2	-2	-2	2	2
Factor de Hora Pico	0.52	0.86	0.84	0.98	0.65
Vehículos pesados	0%	0%	0%	0%	0%
Bloqueo de buses (Nro/hr)	0	15	0	14	0

TABLA XIII.  
DATOS DE ENTRADA PARA LA INTERSECCIÓN N° 3

Datos de entrada	Av. Javier Prado Este con Petit Thoars					
	↑			→	←	
	Izquierda	Directo	Derecha	Directo	Directo	Derecha
Volumen de tráfico (vph)	143	621	25	3542	3193	374
Ancho de carril (m)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Velocidad (km/h)	44	44	44	44	44	44
Pendiente (%)	-2	-2	-2	2	-2	-2
Factor de Hora Pico	0.79	0.82	0.78	0.98	0.97	0.84
Vehículos pesados	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bloqueo de buses (Nro/hr)	0	12	0	10	16	3

### H. Reordenamiento del flujo vehicular

Debido a las consideraciones realizadas para implementar la propuesta de solución es necesario realizar un nuevo ordenamiento del flujo vehicular. De esta manera, se analiza el ciclo semafórico de las intersecciones involucradas de la situación actual y se propone nuevos tiempos, así como el implemento de giros exclusivos en las vías. En efecto, en la figura 10,11 y 12 se presentan los nuevos ciclos semafóricos para cada una de las intersecciones.

Intersección: Av. Javier Prado Este con Av. Rivera Navarrete

Ciclo Semafórico 99 s

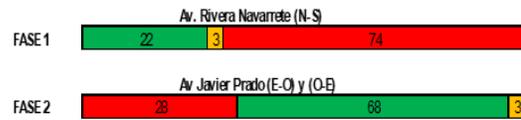


Fig. 10. Ciclo semafórico para intersección N° 1

Intersección: Av. Javier Prado Este con Av. Paseo Parodi

Ciclo Semafórico 165 s

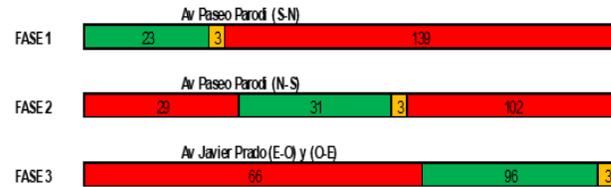


Fig. 11. Ciclo semafórico para intersección N° 2

Intersección: Av. Javier Prado Este con Av. Petit Thoars

Ciclo Semafórico 84 s

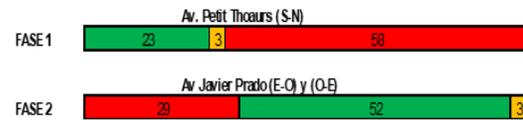


Fig. 12. Ciclo semafórico para intersección N° 3

### H. Simulación mesoscópica aplicando el sistema de transporte On Demand

Con el nuevo volumen vehicular, se procede a introducir dichos valores en el software Synchro 8 para ejecutar una nueva simulación y validar la propuesta aplicada. En efecto, se obtiene una reducción de 70 vehículos menos en ambos sentidos de la Av. Javier Prado y la optimización de los ciclos semafóricos de las intersecciones presentes en dicha avenida. De este modo, en la figura 13 se presenta el nuevo modelo aplicando el sistema de transporte On demand en el software Synchro 8.



Fig. 13. Simulación mesoscópica aplicando el sistema de transporte On Demand en Synchro 8

### J. Resultados obtenidos aplicando el sistema de transporte On Demand

Una vez finalizada la simulación mesoscópica con los nuevos volúmenes vehiculares, Synchro 8 proporciona los resultados del estado de la vía. En la figura 14, 15 y 16 se observa que los indicadores como el nivel de servicio, las demoras y el nivel de servicio ICU han mejorado considerablemente.



Fig. 14. Resultados de nivel de servicio aplicando el sistema de transporte On Demand



Fig. 15. Resultados de las demoras aplicando el sistema de transporte On Demand



Fig. 16. Resultados del nivel de servicio ICU aplicando el sistema de transporte On Demand

### V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de ejecutar la simulación de la situación actual y la simulación aplicando el sistema de transporte On demand se obtiene las siguientes tablas comparativas. En la tabla XIV, XV y XVI se observa los resultados del nivel de servicio, demoras y el nivel de servicio ICU de las tres intersecciones, respectivamente.

TABLA XIV.  
RESULTADOS DE NIVEL DE SERVICIO

Nº de Intersección	Nivel de Servicio de la intersección	
	Situación Actual	Propuesta de solución
Intersección 1	F	C
Intersección 2	F	E
Intersección 3	F	C

TABLA XV.  
RESULTADOS DE LAS DEMORAS

Nº de Intersección	Demoras de la intersección (s)	
	Situación Actual	Propuesta de solución
Intersección 1	114.4	28.3
Intersección 2	153.5	64.2
Intersección 3	109.8	32.3

TABLA XVI.  
RESULTADOS DE NIVEL DE SERVICIO ICU %

Nº de Intersección	Nivel de Servicio ICU de la intersección	
	Situación Actual	Propuesta de solución
Intersección 1	99.2	85.1
Intersección 2	104.7	91.6
Intersección 3	79.0	78.0

Respecto a los resultados que se observan en la tabla XIV, los niveles de servicio en la situación actual son “F”, lo cual indica que el volumen vehicular es alto y la circulación es lenta en las tres intersecciones. Sin embargo, luego de aplicar la propuesta de solución, el nivel de servicio de la intersección N.º 1 y 3 bajó a “C”, esto indica que la circulación vehicular en dichas intersecciones mejora considerablemente. Asimismo, en la intersección N.º 2 pasó a “E”, el cual es un nivel inferior al de la situación actual.

Del mismo modo, según los resultados obtenidos en la tabla XV, se observa una mejora, del más del 50% en las demoras que presentan las tres intersecciones, debido a los altos tiempos obtenidos en la situación actual, los cuales superaban los 100 segundos. De esta manera, al realizar el reordenamiento del flujo vehicular, los tiempos que utilizan los usuarios para movilizarse dentro de la vía disminuyeron hasta en 70 segundos.

Para el nivel de servicio ICU, en la intersección N.º 1 el ICU de la situación actual que fue de 99.2 %, lo que le corresponde un nivel de servicio “F” y con la implementación de la propuesta pasó a “E” con un ICU de 85.1 %. Similar a ello, se observa en la intersección N.º 2, donde se pasa del nivel de servicio “H” al “F”. Esto demuestra que la capacidad de la intersección es

saturada por los vehículos. Asimismo, en la intersección N.º 3, si bien el ICU disminuyó en 1%, el nivel de servicio se mantuvo en “D”.

#### ➤ VALIDACIÓN

Del análisis realizado, se destaca el resultado de las demoras por control de la red vial. Puesto que en las intersecciones N.º 1, 2 y 3 las demoras disminuyeron de forma considerable, donde sobresale el resultado obtenido en la segunda intersección al presentar una diferencia de 89 segundos aproximadamente. Del mismo modo, esto se refleja en la mejora de los niveles de servicio de las intersecciones involucradas.

En base a ello, los resultados obtenidos anteriormente validan la aplicación del sistema de transporte On demand para reducir la congestión vehicular con un reordenamiento de flujo, donde se optimiza el ciclo semafórico y se adiciona giros exclusivos en los accesos de las intersecciones.

#### VI. CONCLUSIONES

En conclusión, los resultados obtenidos evidencian que la implementación del sistema de transporte On demand: taxis compartidos logró reducir la congestión vehicular de una avenida en una zona urbana de alta transitabilidad. Esto, debido a que los indicadores que fueron evaluados según la metodología HCM 2010, los cuales fueron las demoras, los niveles del servicio y la utilización de la capacidad de las intersecciones (ICU) de la vía analizada, la cual fue un tramo de la Av. Javier Prado, presentaron mejoras considerables.

Asimismo, se concluye que es necesario realizar un reordenamiento del flujo vehicular cuando se realiza modificaciones en las vías, debido a que se tendrá que evaluar las nuevas consideraciones. De este modo, en la aplicación de la propuesta de solución se tuvo que proponer un nuevo ciclo semafórico a fin de obtener mejores resultados, entre estos, destaca la considerable disminución del tiempo de espera por parte de los conductores, la cual fue de más del 50%, para circular por las intersecciones que comprende la zona en donde se aplicó la propuesta.

En efecto, los resultados muestran que las tres intersecciones mejoraron en nivel de servicio. Por un lado, en dos intersecciones mejoraron su calificación según HCM 2010 en tres niveles, donde se interpreta que la movilización vehicular ya no es lenta como la obtenida en la situación actual. Lo mencionado anteriormente se debe a que se ha reducido la cantidad de vehículos, debido al desvío por las rutas alternas propuestas y a la implementación de giros exclusivos en los accesos por donde se ha trazado las rutas de desvío con el fin de utilizar de manera adecuada la capacidad de cada acceso.

Asimismo, la evaluación en la zona de estudio comprueba que con el sistema de transporte On demand las demoras de control en las tres intersecciones mejoró de manera notable. En este caso, para la intersección N.º 2, la cual es la principal, la demora disminuyó a 64.2 segundos, de los 153.5 segundos que

demoran los usuarios en trasladarse en la situación actual, donde no hay un ciclo semafórico adecuado para el gran volumen vehicular que presenta el tramo de la Av. Javier Prado.

De igual manera, el ICU en dos intersecciones mejoró en aproximadamente 13 % de los resultados obtenidos en la situación actual. Por ende, el nivel de servicio en ambos casos pasó a un nivel inferior. Lo mencionado anteriormente, indica que la utilización de la capacidad de las intersecciones ha disminuido al integrar las rutas alternas en el sistema propuesto.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Bull, “Congestión de Tránsito, el problema y cómo enfrentarlo,” CEPAL, pp.1-169, Julio de 2003.
- [2] Comunidad Andina, “Parque vehicular en la Comunidad Andina, 2008-2017”, pp 1-11, Diciembre 2018.
- [3] Asociación Automotriz del Perú. “Costo económico causado por la congestión vehicular”, Junio de 2022
- [4] Tomtom, “Tomtom traffic index Ranking 2022”, Mayo de 2023
- [5] M. Kohan, J. Ale, “Discovering traffic congestion through traffic flow patterns generated by moving object trajectories”, Computers, Environment and Urban Systems, vol.80, pp 1-14, Marzo 2020.
- [6] N. Alisoltani, L. Leclercq, M. Zargayouna, “Can dynamic ride-sharing reduce traffic congestion?”, Transp. Res. Part B Methodol, vol. 145, pp. 212-246, Marzo 2021.
- [7] Z. Zhou, C. Roncolí, “A scalable vehicle assignment and routing strategy for real-time on-demand ridesharing considering endogenous congestion” Transp. Res. Part C Methodol, vol. 139, pp. 1-22, Junio 2022.
- [8] Y. Li, Y. Liu, J. Xie, “A path-based equilibrium model for ridesharing matching” Transp. Res. Part B Methodol, vol. 138, pp. 373-405, Agosto 2020.
- [9] O. Aydin, I. Gokasar, O. Kalan, “Matching algorithm for improving ridesharing by incorporating route splits and social factors”. Plos One, vol. 15, pp. 1-23, Marzo 2020.
- [10] S. Meshkani, B. Farooq, “A generalized ride-matching approach for sustainable shared mobility”. Transp. Res. Part A Methodol, vol. 76, pp. 261-283, Enero 2022.
- [11] Transportation Research Board, “Highway Capacity Manual - HCM 2010”. Volume 3: Interrupted traffic flow. Estados Unidos. Diciembre 2010.
- [12] Traffware. “User Guide: Synchro Studio 8”. Estados Unidos. Junio 2011
- [13] V. Fuentes, “Hora punta vehicular en la capital: ¿Cuáles son las vías más congestionadas de Lima, según PNP?”, Noviembre 2022