

Diagnosis and Analysis of The Behavior of The Vehicular Flow and Service Level from The Javier Prado Avenue - Lima, Perú

Leonardo Flores González, Master of Science¹, Edward Santa María Dávila, Master of Science¹, Yeltsin Valero Camarena, Ingeniero Civil¹ Walter Montenegro Sono, Ingeniero Civil¹

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, lfloresg@uni.edu.pe, esantamariad@gmail.com, ylvaleroc@gmail.com, wjmontenegros@gmail.com

Abstract— *Congestion and saturation of vehicles on the main roads of the city of Lima is a problem difficult to understand because the many facets and variables that cause it. Based on the collection of data from various cameras filming located in the area of Javier Prado avenue, stretch from Aviacion avenue to Evitamiento highway, it had been performed an analysis of some variables which ones we have tried to monitor, diagnose and analyze the behavior in this way, and their service level. The proposals variables to analyze are: vehicular intensity, demand for vehicles, average speed, capacity of the road, track geometry, lane change maneuver, Types of vehicles, number of lanes and Traffic Density. From the analysis of these variables and their interaction can we give some conclusions about the most influential variables in traffic congestion, the service level of the road, in addition to understanding the phenomenon.*

Keywords- *Congestion, Traffic intensity, vehicle speed, lane change maneuvers, Vehicular Density, Av Javier Prado, characteristics curve.*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.409>
ISBN: 978-0-9993443-1-6
ISSN: 2414-6390

Análisis del Comportamiento del Flujo Vehicular y Nivel de Servicio de la Av. Javier Prado – Lima, Perú

Leonardo Flores González, Master of Science¹, Edward Santa María Dávila, Master of Science¹, Yeltsin Valero Camarena, Ingeniero Civil¹ Walter Montenegro Sono, Ingeniero Civil¹

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, lfloresg@uni.edu.pe, esantamariad@gmail.com, ylvaleroc@gmail.com, wjmontenegros@gmail.com

Resumen– La congestión y saturación de vehículos en las principales vías de la ciudad de Lima es un problema de difícil comprensión, debido a las múltiples aristas y variables que la originan. En base a la recolección de datos proporcionados por filmaciones de diversas cámaras ubicadas en la zona de la Av. Javier Prado, tramo desde la Av. Aviación hasta la Vía Evitamiento, se ha realizado un análisis de algunas variables con las cuales se ha pretendido monitorear, diagnosticar y analizar el comportamiento en esta vía, y su nivel de servicio. Las variables a analizar propuestas son: intensidad vehicular, densidad vehicular, velocidad media, capacidad de la vía, geometría de la vía, maniobra de cambio de carril, Tipología de vehículos, Número de Carriles y Demanda Vehicular. A partir del análisis de estas variables y su interrelación se puede dar conclusiones de las variables más influyentes en la congestión vehicular, del nivel de servicio de la vía, además de intentar comprender el fenómeno.

Palabras clave– Congestión vehicular, intensidad vehicular, velocidad, cambio de carril, densidad vehicular, curvas características.

Abstract– Congestion and saturation of vehicles on the main roads of the city of Lima is a problem difficult to understand because the many facets and variables that cause it. Based on the collection of data from various cameras filming located in the area of Javier Prado avenue, stretch from Aviacion avenue to Evitamiento highway, it had been performed an analysis of some variables which ones we have tried to monitor, diagnose and analyze the behavior in this way, and their service level. The proposals variables to analyze are: vehicular intensity, demand for vehicles, average speed, capacity of the road, track geometry, lane change maneuver, Types of vehicles, number of lanes and Traffic Density. From the analysis of these variables and their interaction can we give some conclusions about the most influential variables in traffic congestion, the service level of the road, in addition to understanding the phenomenon.

Keywords– Congestion, Traffic intensity, vehicle speed, lane change maneuvers, Vehicular Density, Av Javier Prado, characteristics curve.

I. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Lima ha tenido un crecimiento explosivo, tanto poblacional como de uso de suelo y con ello el parque automotor, la oferta y demanda de transporte. En medio de este crecimiento caótico, los servicios esenciales de la ciudad han permanecido en la zona central de la ciudad, y las arterias principales han ido saturándose en los últimos años.

La velocidad media de tránsito ha ido disminuyendo, lo que aumenta el tiempo de espera y permanencia de un vehículo en un sistema vial, provocando la disminución de los niveles de servicio que prestan las vías metropolitanas. Según la actualización del plan maestro realizado por JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón) [2] la velocidad en las horas picos de la mañana y noche en las principales avenidas de la ciudad es menor a 20 Km/h. Una de estas principales arterias es la Avenida Javier Prado, que une la ciudad en el eje Este-Oeste.

El presente trabajo se ha realizado en base a las filmaciones de cámaras de video-vigilancia proporcionadas por la Municipalidad de San Borja (distrito de Lima) correspondiente a los días 26, 28 y 30 de junio del 2014.

El proceso se ha realizado a través de 5 cámaras ubicadas en la Av. Javier Prado, en el tramo de la Av. Aviación hasta la Vía Evitamiento, además el análisis se ha realizado en ambos sentidos.

Se ha realizado análisis de primer orden, que consisten en la observación directa de ciertos parámetros propios del flujo vehicular, y análisis de segundo orden, que se definieron como la combinación de parámetros, y su interrelación. Esto nos permite comprender y poder predecir los niveles de servicio y confort de la vía basado en la data obtenida.

II. GENERALIDADES

A. Problema

En la búsqueda de comprender el fenómeno de la congestión surgen preguntas que se buscan responder en este artículo: ¿Cómo determinar y predecir la capacidad y confort de los usuarios y conductores en la Av. Javier Prado? ¿Qué variables analizar para poder predecir la capacidad y confort de los usuarios y conductores en la Av. Javier Prado?

B. Objetivo

Determinar los principales parámetros y variables que influyan en la capacidad y confort de la Av. Javier Prado con el fin de comprender el fenómeno de la congestión vehicular en el sistema vial analizado.

C. Hipótesis

La densidad vehicular, variable de segundo grado dependiente de la relación de la velocidad media y de la intensidad vehicular a lo largo de la vía nos permite conocer

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.409>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

el nivel de servicio de la vía. Entonces se puede sustentar que la saturación supera en gran parte de la jornada los valores máximos de capacidad vial y confort, es decir la vía tiene un nivel permanente de congestión.

D. Metodología de la investigación

- 1) Recolección de Datos.
 - Videos proporcionados por las municipalidades de San Borja, San Isidro y Santiago de Surco.
 - Toma de videos complementarios en puntos específicos de la zona de estudio por el equipo de investigación.
 - Toma de datos de velocidades por medio de la metodología del vehículo flotante de recorrido por la zona de estudio.
 - Geometría vial del eje vial. Principalmente se relaciona con el ancho de carril de las vías.
- 2) Se evalúan los videos proporcionados y tomados con el objetivo de obtener información precisa de aforos vehiculares, maniobras y velocidades.
- 3) Se evalúan las diferentes variables obtenidas de la base datos, y se comparan con datos teóricos de los valores de capacidad y confort.
- 4) En función de estos valores teóricos y de campo se puede inducir una capacidad máxima observada y su relación con la capacidad teórica, además se puede inducir los niveles de confort durante una jornada.
- 5) Se correlacionaron la geometría y las maniobras con los datos de capacidad y confort. Además, se correlaciona la demanda de la vía, la tipología de los vehículos y la geometría de la vía con los datos de capacidad para tener una prospectiva del potencial de demanda.
- 6) Se correlacionaron el diagnóstico de los resultados con el confort para emitir hipótesis de correcciones de ingeniería.

III. MARCO CONCEPTUAL

A. Definiciones

- 1) Velocidad Vehicular: Podemos definir de modo general la velocidad como la relación existente entre el espacio recorrido y el tiempo empleado en recorrerlo, y suele expresarse en km/h.
- 2) Intensidad Vehicular: Se llama intensidad de tráfico al número de vehículos que pasan a través de una sección fija de una carretera por unidad de tiempo. Las unidades más usadas son vehículos/hora (intensidad horaria) y vehículos/día (intensidad diaria).
- 3) Densidad Vehicular: Se denomina densidad de tráfico al número de vehículos que hay en un tramo de carretera por unidad de longitud para un instante dado. Se puede medir, por ejemplo, obteniendo una fotografía de un tramo de carretera y contando los vehículos que hay en él.

B. Variables

- 1) Velocidad promedio (Km/H): determinada a través de las grabaciones calculando por hora un promedio de la velocidad de vehículos, en mediciones puntuales (spot). Esta variable nos da un indicador del nivel de congestión del sistema.
- 2) Intensidad Vehicular (Veh/H/Carril): se ha medido con el conteo alrededor de 5 minutos de las grabaciones por cada hora y durante todo el día de los tres días de grabación. La observación corresponde a los carriles en Vía Expresa.
- 3) Demanda de vehículos (Veh/Eje/Diario): se ha medido con el conteo alrededor de 5 minutos de las grabaciones por cada hora y durante todo el día de los tres días de grabación. La observación corresponde a los carriles en Vía Expresa y ha sido calculada a través de la Intensidad Horaria y a través de una sectorización del tramo en Estudio. Incluyen carriles auxiliares de la Vía Expresa.
- 4) Geometría de la Vía (m): se ha definido como el ancho de la calzada real encontrada en la zona de Estudio y se ha determinado a través de ortofotos (fotos satelitales de gran resolución).
- 5) Tipo de vehículos (%): automóviles, camionetas, couster/combi, buses, camiones y motos. Se han identificado en un lapso de 2 minutos por hora durante toda la jornada.
- 6) Capacidad de la vía (Veh/H): obtenido a través de la Intensidad Vehicular máxima soportada por hora tomando en consideración que la Capacidad máxima ideal por carril toma el valor de 1800 veh/h/Carril [4] para una velocidad de flujo libre de 80 km/h .
- 7) Maniobras del conductor (#/H): se ha considerado la maniobra de cambio de carril del conductor y fueron medidas de forma puntal (spot) a través de las grabaciones en el lapso de 2 minutos por hora durante toda la jornada.
- 8) Densidad Vehicular (Veh/km/carril). La densidad vehicular es una variable dependiente de la relación entre Intensidad Vehicular y la velocidad media en el tramo y representa la cantidad de vehículos que se encuentran en un tramo de un kilómetro de vía por carril.

C. Descripción general de la zona de estudio

El sistema de prueba que se analiza es el comprendido en la Av. Javier Prado Este entre la Av. Aviación y la Av. Evitamiento. (Ver Figura 1).

En el sistema mostrado existen diferentes rampas de acceso y salida al sistema de estudio en ambos sentidos OESTE-ESTE y viceversa.

El tramo en estudio aproximadamente es de alrededor de 2.5 km; la toma de datos se ha realizado en los horarios de

6:00 h hasta las 22:00 h. La configuración del sistema está compuesta por:

- 1) Vía Principal - Vía Expresa (Q_i), representa en el Sistema los datos medidos en la vía principal en ambos sentidos Este-Oeste y Oeste-Este. Las ubicaciones son las siguientes:
 Q1: A la altura de la Av. Aviación, con la ayuda de las cámaras C037 y C003.
 Q2: A la altura de la Av. Rosa de Toro, con la ayuda de la cámara C006.
 Q3: Entre la Av. Panamericana Sur y Av. Circunvalación, con la ayuda de la cámara C075.
- 2) Entradas (E_i), representa en el Sistema los datos medidos en las rampas y ramales de acceso a la Vía Principal, en ambos sentidos Este-Oeste y Oeste-Este. En ambos sentidos se cuentan con 6 entradas, y su toma de datos fue con la ayuda del monitoreo de las cámaras: C037, C003, C006, C008 y C075.

- 3) Salidas (S_i), representa en el Sistema los datos medidos en las rampas y ramales de salida de la Vía Principal, en ambos sentidos Este-Oeste y Oeste-Este. En ambos sentidos se cuentan con 5 salidas, y su toma de datos fue con la ayuda del monitoreo de las cámaras: C037, C003, C006, C008 y C075.
- 4) Demanda en las Vías Auxiliares (q_i), representa en el Sistema los datos medidos en los carriles auxiliares a la Vía Expresa, por la cual transita Transporte Público y Transporte Privado.
 q1: Se ubica a la altura de la Av. Aviación, el monitoreo se ha realizado con la ayuda de las cámaras C037 y C003.
 q2: Se ubica a la altura de la Av. Rosa de Toro, la toma de datos en este punto fue con la ayuda de la cámara C006.

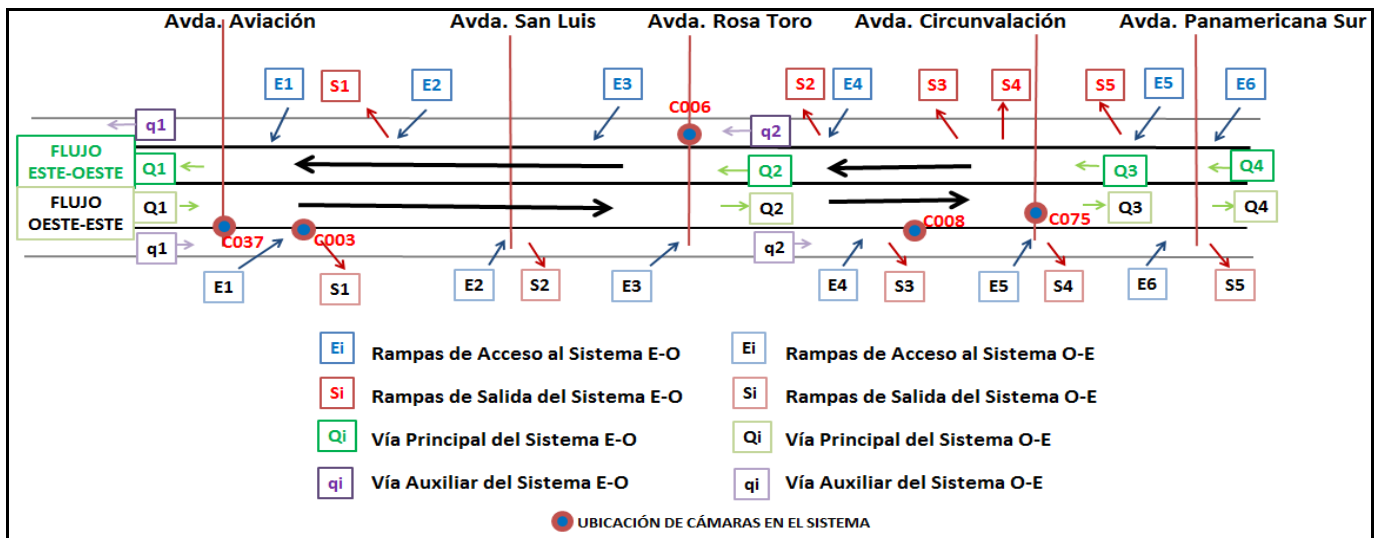


Fig. 1 Esquema General del Sistema de Estudio

IV. CÁLCULOS Y RESULTADOS

A. Análisis de primer orden

1) Intensidad vehicular (veh/h/carril)

La intensidad vehicular empieza a incrementarse en gran medida partir de las 6:00 h hasta aproximadamente las 19:30h, obteniendo en este intervalo su máximo valor durante toda la jornada. A partir de las 19:30h la Intensidad Vehicular empieza a decrecer considerablemente llegando a niveles de 1000 veh/hora/carril.

La menor intensidad vehicular del día a causa de la congestión en el sentido ESTE-OESTE se da en el intervalo de las 17:00 horas a las 19:00 horas para Q1 y Q2, mientras que para Q3, se da en el intervalo de 11:30 h – 12:30 h.

Mientras tanto en el sentido Oeste-Este el horario más crítico es de 16:00 a 17:00 horas.

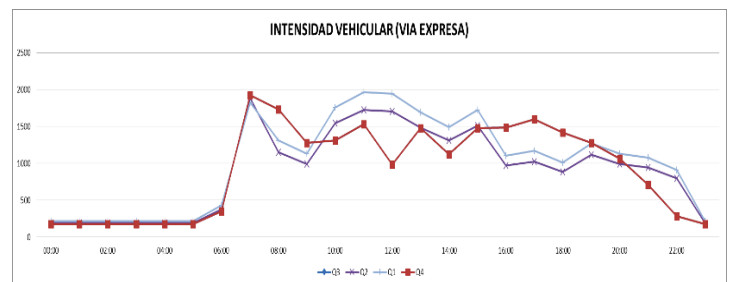


Fig. 2 Intensidad Vehicular por carril durante todo el día ESTE-OESTE. Los valores varían entre 1000 y 1800 veh/carril/h durante casi toda la jornada.

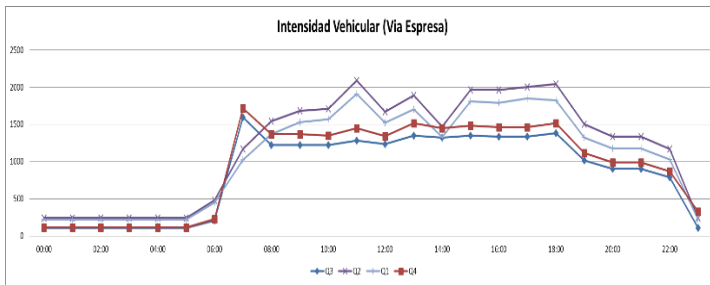


Fig. 3 Intensidad Vehicular por carril durante todo el día OESTE-ESTE. Los valores varían entre 1200 y 1800 veh/carril/h durante casi toda la jornada.

El sistema tiene un flujo permanente de vehículos, con una intensidad vehicular comprendida entre 1000 y 1800 veh/km/h. Si bien es cierto existen algunas formaciones de picos a lo largo del día, se podría indicar que la vía es utilizada en gran parte de su capacidad.

La vía auxiliar de la Av. Javier prado también sufre variaciones de intensidad durante el día, a pesar de ser una vía de menor velocidad y menor capacidad, en horas punta la intensidad vehicular de la vía expresa y la vía auxiliar se igualan debido a la disminución de la intensidad en la vía expresa producto de la saturación de la vía.

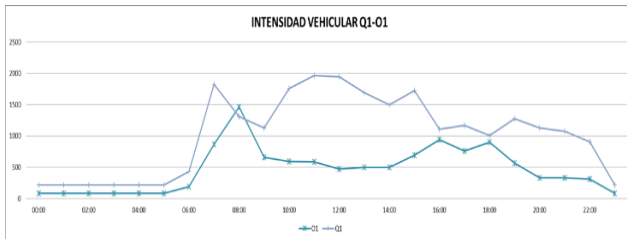


Fig. 4 Intensidad Vehicular Q1 VS O1 - ESTE-OESTE.

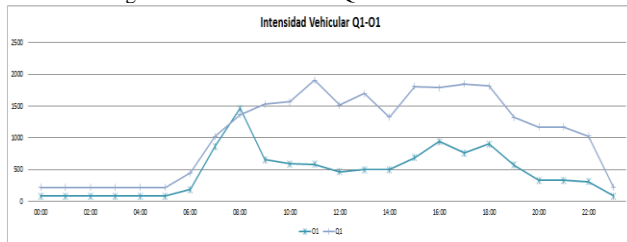


Fig. 5 Intensidad Vehicular Q1 VS O1 - OESTE-ESTE.

Se puede apreciar en las gráficas que en horas punta las vías auxiliares sufren un incremento de intensidad, y con la disminución de la intensidad en la vía expresa estas se igualan entre los horarios de 8:00 a 10:00 horas y 16:00 a 18:00 horas. En el caso de las vías auxiliares se observa que el pico inicial de 1500 veh/carril/h no puede reproducirse luego a lo largo del día, debido al caos por la mala gestión de tráfico y del transporte público.

2) Demanda de vehículos (Veh/día)

Se ha sectorizado la demanda según las rampas de acceso y salida de vehículos con la finalidad de hacer una matriz sectorizada de orígenes destino. (Ver Fig. 1).

En ambos sentidos no se ha podido captar una parte del flujo de vehículos, debido a que no se contaba con cámaras de video en cada entrada o salida del Sistema en estudio. Sin embargo, para balancear las ecuaciones se han supuesto n° de vehículos que resultan de igualar los ingresos y salidas. Esta cantidad se ha denominado “Vehículos no captados en los videos (Ni)”.

i. DEMANDA ESTE-OESTE

TABLE I
DEMANDA DE VEHÍCULOS EN EL SISTEMA EN SENTIDO ESTE-OESTE

ORIGEN	ENTRADA N° DE VEHÍCULOS	DESTINO	SALIDA N° DE VEHÍCULOS
Distritos del Este -La Molina -Santiago de Surco	89,100	Distritos del Oeste -San Isidro -Lince -Miraflores	107200
Avda. Circunvalación -Santa Anita -Agustino	19,500	Distritos -San Borja -Surquillo	17,700
Avda. Aviación -San Borja -Surquillo	4,600	Avda. Circunvalación -La Victoria -San Borja	9,500
TOTAL	113200	TOTAL	116,700

DEMANDA DIARIA. La demanda diaria en el sentido EO denota que hay alrededor de 115,000 vehículos que circulan en esa dirección, de los cuales 89,100 vehículos provendrían de La Molina y Santiago de Surco; 19,500 de la Panamericana y Circunvalación; y 4,600 de San Borja y Surquillo. Esto indica que la mayor parte del flujo tendría trayectos superiores a 2.5 km en el eje de la Av. Javier Prado.

DEMANDA EN HORA PICO. Del análisis de flujo se encontró que existe dos horas picos durante el día, una en la mañana y otra en la noche. La demanda en estos horarios en sentido EO representa el 18% y 15% del total de la demanda diaria, haciendo un total de 33%.

ii. DEMANDA OESTE-ESTE

TABLE II
Demanda de vehículos en el Sistema en sentido OESTE-ESTE

ORIGEN	ENTRADA N° DE VEHÍCULOS	DESTINO	SALIDA N° DE VEHÍCULOS
Distritos del Oeste -San Isidro -Lince -Miraflores	77,800	Distritos del Este -La Molina -Santiago de Surco	90600
Avda. Circunvalación -Santiago de Surco -San Borja	6,200	Avda. Aviación -San Borja -Surquillo -Santiago de Surco	23,700
Avda. Aviación -San Isidro -Miraflores	4,100	Avda. Circunvalación -Surquillo -Santiago de Surco	6,200
TOTAL	84,000	TOTAL	114,300

A.

DEMANDA DIARIA. La demanda diaria en el sentido OE denota que alrededor de 115,000 vehículos que circulan en esa dirección, de los cuales 97,600 vehículos provendrían de Magdalena, Lince y Miraflores; 9,000 de Santiago de Surco, San Borja y Surquillo; y 4,400 de San Isidro y Miraflores. Esto indica que la mayor parte del flujo tendría trayectos superiores a 2.5 km en el eje de la Av. Javier Prado.

DEMANDA EN HORA PICO. La demanda en las horas pico en sentido OE representa el 11% y 26% del total de la demanda diaria, haciendo un total de 37%

En resumen la demanda diaria tanto de EO y OE es alrededor de 120,000 vehículos. En las horas picos la demanda es alrededor del 35% del total diario con la diferencia que de EO la demanda es mayor en la hora pico de mañana, mientras que en el sentido OE es mayor la demanda en el horario nocturno.

Se ha podido observar que aproximadamente 90,000 vehículos en el sistema realizan recorridos de más de 3 km (viajes de tramos largos), lo cual es alrededor de un 75% de la demanda diaria, mientras que el 25% realiza viajes de tramos cortos.

3) Tipo de vehículos (TV)

Los automóviles son la mayor cantidad de vehículos que transitan en la Av. Javier Prado aproximadamente están en el valor del 70 %, mientras que también existe un gran número de camionetas 20%, también se ha encontrado un 6% de Couster/Combi, 2% de camiones y 2% de motos (este conteo realizado a la altura de la Vía Evitamiento).

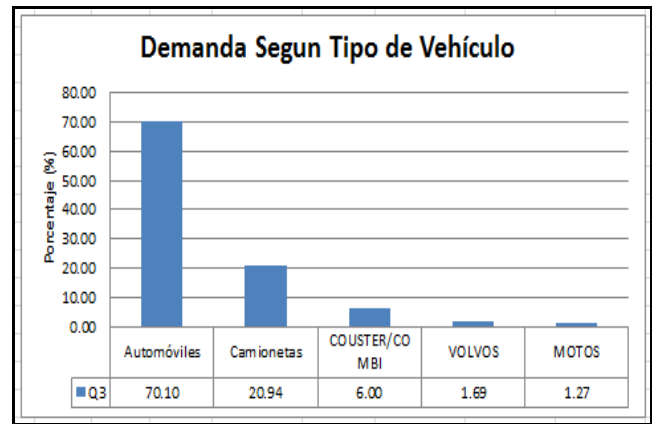


Fig. 6 Flujo Vehicular en porcentaje según tipo de vehículo en punto Q3.

Conociendo la demanda por tipo de vehículo se aprecia que el sistema es principalmente de vehículos privados, pues entre autos y camionetas engloban más del 90% de la demanda total del sistema.

4) Capacidad de la vía (Veh/H)

La capacidad de la vía representa la demanda máxima por hora que puede soportar una vía por sentido. Esta capacidad depende del número de carriles que tenga la vía y de parámetros geométricos y de diseño de esta.

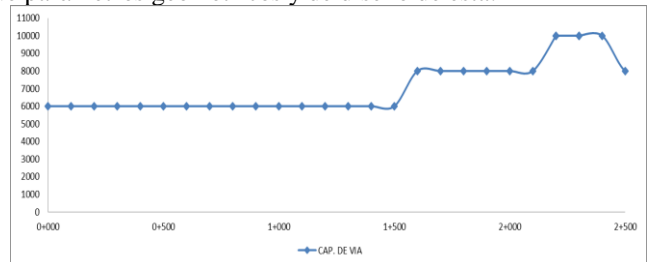


Fig. 7 Capacidad Vial del Tramo en Estudio Sentido Este-Oeste.

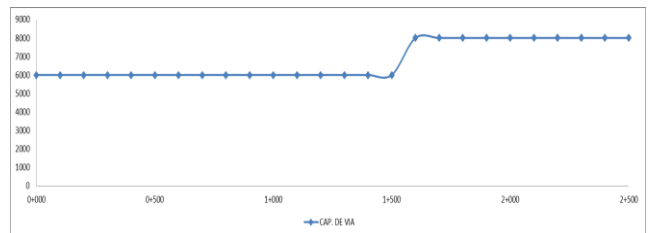


Fig. 8 Capacidad Vial del Tramo en Estudio Sentido Oeste-Este.

5) Geometría de la vía (G)

Tomando en consideración que un carril tiene 3.5 metros de ancho, se ha encontrado en la vía que existen algunas zonas en donde no se cumple esto, llegando hasta una diferencia de 2 m como muestra el gráfico.

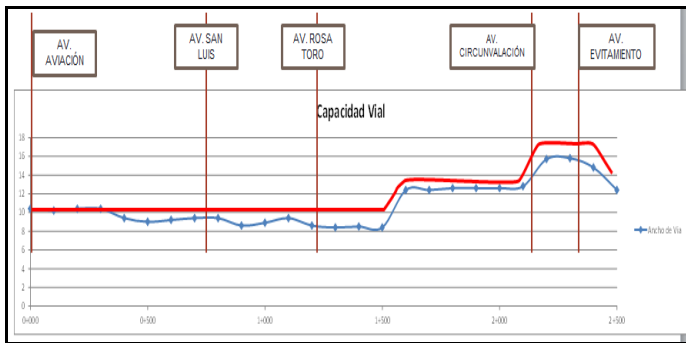


Fig. 9 Ancho de vía real (azul) vs teórico (rojo)

La diferencia principalmente se debe a que algunas zonas de la vía están diseñadas para que la calzada sea usada en tres carriles, sin embargo los conductores usan la vía como si tuviera 4 carriles y hasta 5 carriles. Estas reducciones crean puntos artificiales de congestión que podrían ser reducidos con obras menores de infraestructura para uniformizar los anchos de vía.

6) Velocidad promedio (VP)

En el Sentido Este-Oeste a partir de las 7:30h hasta las 9:00h se encuentra el intervalo en donde la velocidad se ve claramente reducida y por ende se puede asegurar que este intervalo de tiempo se genera el fenómeno de la Congestión por las mañanas.

Mientras que por las tardes el valle de Congestión es aún mayor ya que el intervalo en donde la velocidad se ve reducida alcanzando velocidades por debajo de los 30km/h es entre las 16:00h a las 19:30h.

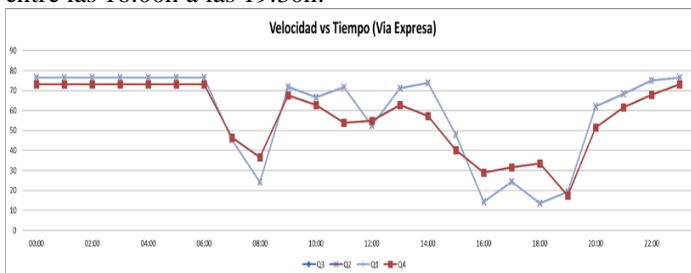


Fig. 10 Velocidad promedio durante la jornada – Sentido Este-Oeste

La fig. 10 muestra dos horarios picos bien marcados en donde la velocidad es reducida considerablemente y el servicio decae ostensiblemente. Es en estos horarios en donde se debe poner énfasis para poder solucionar los problemas de congestión existentes en el sistema.

Mientras tanto en sentido contrario de Oeste-Este los horarios de la reducción de la velocidad se dan en dos horarios de 6:00-9:00, de 11:30-12:30. Cabe indicar que en el sentido Este-Oeste la reducción de velocidad es mayor, llegando a velocidades promedio de 12 Km/H.

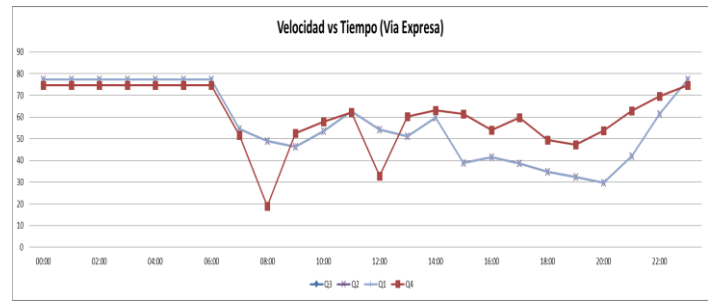


Fig. 11 Velocidad promedio durante la jornada – Sentido Oeste-Este

Al igual que muestra el análisis de intensidad vehicular, el análisis de la velocidad muestra que en horas punta la vía auxiliar a pesar de ser una vía de menor velocidad de diseño, la velocidad se iguala tanto para la vía expresa y auxiliar, incluso llega a ser mayor, lo que muestra el grado de decaimiento del nivel de servicio de la vía expresa.

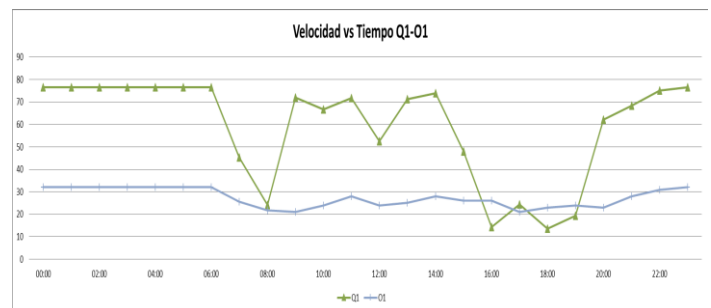


Fig. 12 Velocidad promedio de Q1 vs q1 durante la jornada – Sentido Este-Oeste

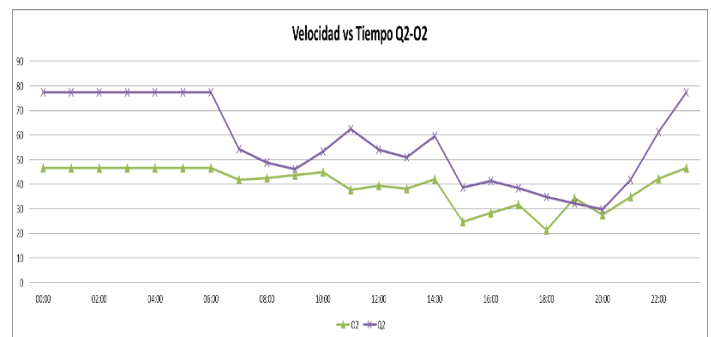


Fig. 13 Velocidad promedio de Q2 vs q2 durante la jornada – Sentido Oeste-Este

Además se ha realizado un análisis de la variación de velocidad a lo largo del todo el eje vial Javier Prado-La Marina- realizados a través de la metodología del Vehículo Flotante realizado en horas punta y valles. A continuación, se muestran las velocidades medias por tramos, en horas típicas puntas y valles en ambos sentidos de circulación.

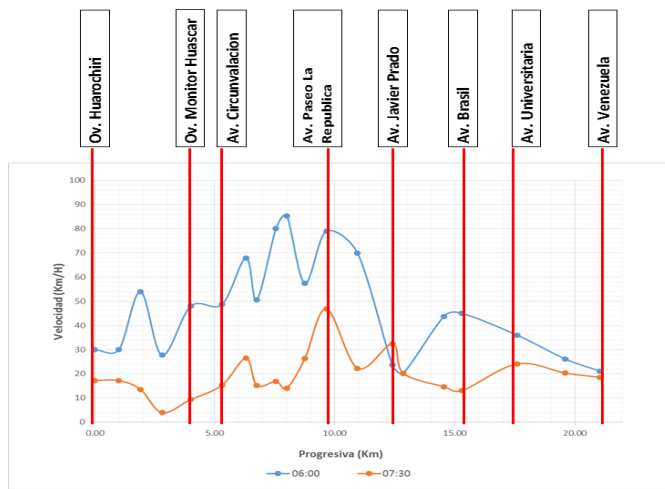


Fig. 14 Velocidad promedio a lo largo del eje vial – Sentido Este-Oeste

En el sentido Este-Oeste, se puede apreciar que los puntos negros en donde se generan los mayores puntos de congestión, y es donde se origina los problemas ya conocidos. Estos tramos de mayor congestión son Av. Javier prado entre Ov. Huarochirí y Ov. Monitor, La Av. Sánchez Carrión Entre Av. J. Prado y Gregorio Escobedo. La mayor reducción de velocidad en hora punta respecto a la hora valle son los tramos de la Av. Javier Prado.

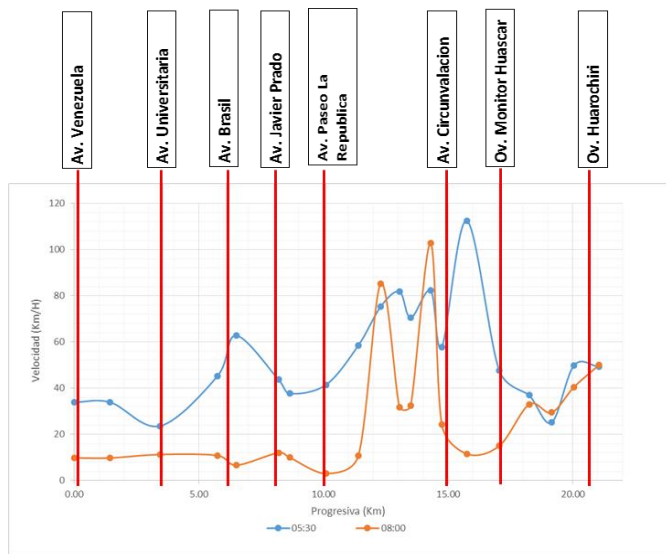


Fig. 15 Velocidad promedio a lo largo del eje vial – Sentido Oeste-Este

En el sentido Oeste-Este los tramos de mayores problemas de congestión en hora punta son la Av. Javier Prado entre Ov. Monitor y Av. Circunvalación, mientras tanto el eje vial desde la intersección de la Av. Venezuela - Av. Faucett hasta Av. Paseo La Republica – Av. Javier Prado. La mayor reducción de la velocidad entre los horarios valle y horas punta son los tramos de las avenidas Faucett y La marina.

7) Densidad vehicular (Veh/Km/carril)

La densidad vehicular es una variable que refleja el número de vehículos que se encuentra en un kilómetro de vía por carril, según las dimensiones de los vehículos la densidad máxima es aproximadamente considerando la velocidad de diseño y la separación entre autos es de 100 Veh/Km/Carril. Sin embargo, se puede observar que en la práctica (a través de las gráficas de densidad) este valor no supera los 80 veh/km/carril. Según el HCM (Highway Capacity Manual) al superar los 42 veh/km/carril ya estamos hablando de una vía saturada y en congestión.

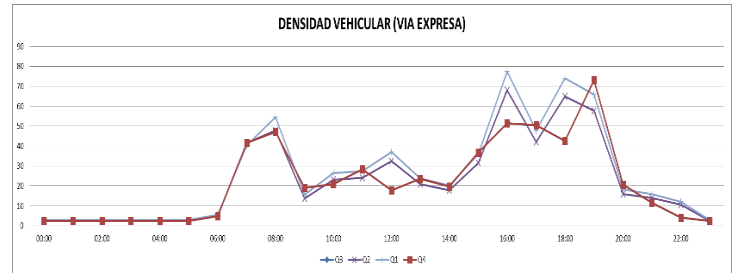


Fig. 16 Densidad Vehicular durante la jornada – Sentido Este-Oeste

En el sentido Este-Oeste la densidad máxima que bordean los 80 veh/km/carril se dan entre las 16:00 – 17:30. Esto concuerda con los horarios de congestión. Otro horario de saturación se da entre las 7:00-9:30.

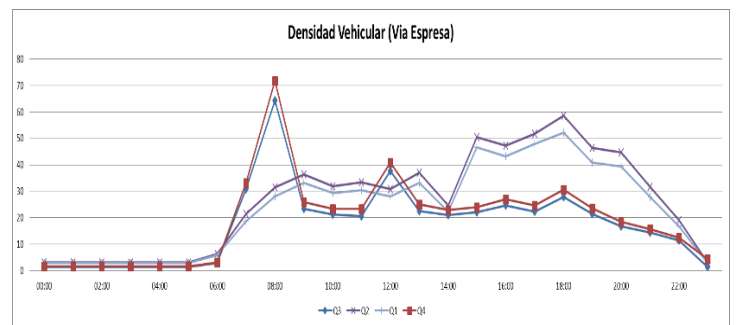


Fig. 17 Densidad Vehicular durante la jornada – Sentido Oeste-Este

En el sentido Oeste-Este la densidad máxima que bordean los 70 veh/km/carril se dan entre las 8:00 – 9:00. Esto concuerda con los horarios de congestión. Otro horario de saturación se da entre las 15:00-20:00.

Estas relaciones muestran la relación directa del aumento de la densidad con el incremento de la intensidad del fenómeno de la congestión, entonces mientras más saturada se encuentre una vía (mayor densidad), mayores problemas de congestión presenta la vía.

B. Análisis de segundo orden

- 1) Maniobras del conductor (#/H) versus velocidad promedio (Km/H)

Las maniobras de cambio de carril son variables a lo largo del día teniendo como pico el horario entre las 11:00 y 15:00 horas y otro pero de menor intensidad entre las 19:00 y 21:00 horas.

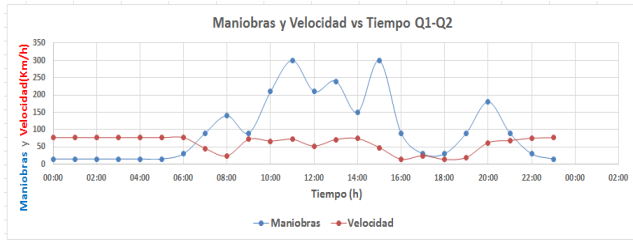


Fig. 18 Maniobras vs Velocidad en Q1-Q2 Sentido Este-Oeste.

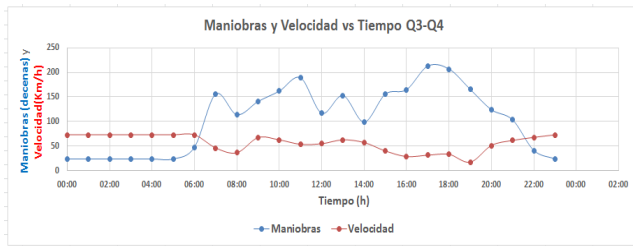


Fig. 19 Maniobras vs Velocidad en Q3-Q4 Sentido Este-Oeste

Tomando como el decaimiento de la velocidad como efecto de la congestión, entonces se infiere que el número de maniobras es mayor precisamente antes y después que se genere la congestión vehicular, según muestra la gráfica. Esto muestra la relación entre el número de maniobras de cambio de carril con el fenómeno de la congestión y viceversa.

2) Intensidad vehicular versus velocidad promedio.

Relacionando la velocidad promedio de la vía con el Intensidad vehicular existente, se pueden realizar la Curva de Congestión evaluando la vía por niveles de Servicio A, B, C, D, E, F.

Se observa que la congestión produce una degradación del Nivel de Servicio de la Vía, llegando hasta alrededor del Nivel de Servicio F en aproximadamente 5h/día¹.

Siguiendo las recomendaciones del HCM-2000² la curva de congestión Velocidad vs Intensidad Vehicular se asemeja a dos curvas parabólicas iniciando ambas en punto de corte con una recta horizontal de velocidad 50 km/H para la vía expresa (para la vía auxiliar se tomó la recta horizontal de velocidad 40 km/H).

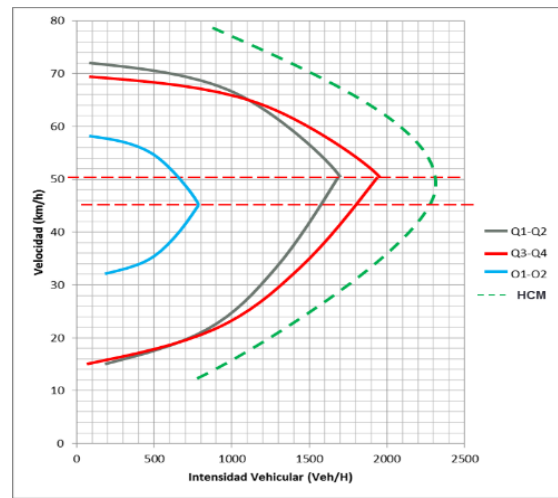


Fig. 20 Curvas de Congestión del sistema – Este-Oeste.

PARA Q1-Q2:

$$V = 10^{-5}(IV)^2 + 0.0061IV + 15.124 \quad ; V > 50$$

$$R^2 = 0.93893$$

$$V = -10^{-5}(IV)^2 + 0.006IV + 80 \quad ; V < 50$$

$$R^2 = 0.99031$$

PARA Q3-Q4:

$$V = 10^{-5}(IV)^2 + 0.0065IV + 12.957 \quad ; V > 50$$

$$R^2 = 0.98053$$

$$V = -5 \times 10^{-5}(IV)^2 + 0.0008IV + 73 \quad ; V < 50$$

$$R^2 = 0.9922$$

PARA O1-O2:

$$V = 5 \times 10^{-5}(IV)^2 + 0.0008xIV + 32.48 \quad ; V > 40$$

$$R^2 = 0.99325$$

$$V = -2 \times 10^{-5}(IV)^2 + 0.0058xIV + 58.18 \quad ; V < 40$$

$$R^2 = 0.98871$$

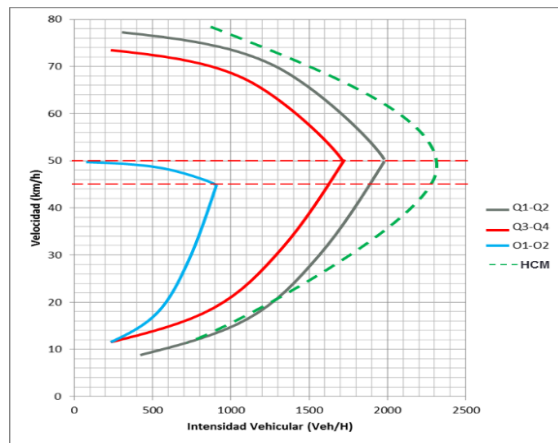


Fig. 21 Curvas de Congestión del sistema – Oeste-Este.

PARA Q1-Q2:

$$V = 10^{-5}(IV)^2 + 9 \times 10^{-5}xIV + 10.054 \quad ; V > 50$$

$$R^2 = 0.92635$$

$$V = -5 \times 10^{-6}(IV)^2 + 0.0044xIV + 78.819 \quad ; V < 50$$

$$R^2 = 0.99377$$

PARA Q3-Q4:

¹ Se está relacionando la velocidad con la formación de congestión, y en consecuencia, el nivel de servicio.

² Highway Capacity Manual 2000. (2000). California, EEUU: National Research Council

$$V = 2 \times 10^{-5}(IV)^2 + 0.003xIV + 10.15 \quad ; V > 50$$

$$R^2 = 0.84822$$

$$V = -10^{-5}(IV)^2 + 0.0009xIV + 78.046 \quad ; V < 50$$

$$R^2 = 0.99238$$

PARA Q1-Q2:

$$V = 7 \times 10^{-6}(IV)^2 + 0.0092xIV + 9.918 \quad ; V > 40$$

$$R^2 = 0.9462$$

$$V = -5 \times 10^{-6}(IV)^2 + 0.0024xIV + 49.778 \quad ; V < 40$$

$$R^2 = 0.99238$$

Estas Graficas permitirán determinar la intensidad vehicular (y en consecuencia la demanda horaria) a partir de la velocidad promedio. Esta curva es típica de la avenida Javier Prado en el tramo de análisis, y puede ayudar en la predictibilidad de su comportamiento.

3) Intensidad vehicular versus densidad vehicular.

Esta curva que relaciona la intensidad vehicular y la densidad tiene forma parabólica lo que muestra que en primera instancia mientras aumenta la densidad aumenta la intensidad, pero llega un punto aproximadamente al llegar a 42 Veh/km/Carril (valor que coincide con el HCM) que al superarse la intensidad comienza a disminuir, todo esto debido al fenómeno de la congestión y el nivel de servicio.

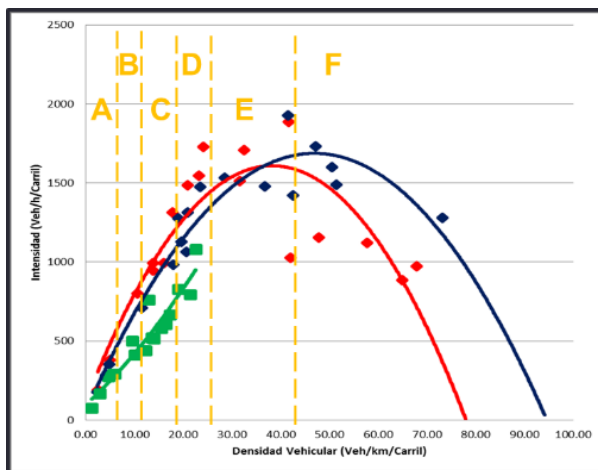


Fig. 22 Curvas de Saturación del sistema – Este-Oeste.

PARA Q1-Q2:

$$V = -0.7417x(D)^2 + 69.595xD + 54.371$$

$$R^2 = 0.7513$$

PARA Q3-Q4:

$$V = -1.0172x(D)^2 + 77.862xD + 118.44$$

$$R^2 = 0.9254$$

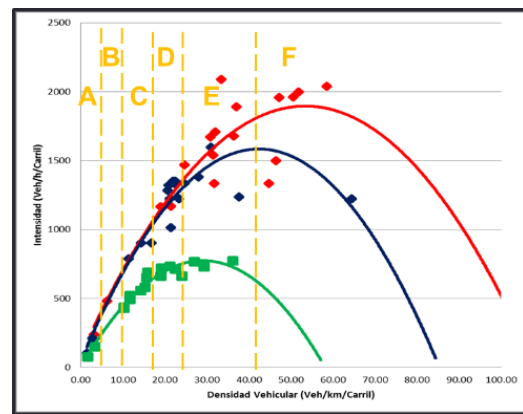


Fig. 23 Curvas de Saturación del sistema – Oeste-Este.

PARA Q1-Q2:

$$V = -0.6336x(D)^2 + 67.666xD + 88.879$$

$$R^2 = 0.8234$$

PARA Q3-Q4:

$$V = -0.8581x(D)^2 + 72.663xD + 45.929$$

$$R^2 = 0.9068$$

La curva de saturación (Velocidad vs Densidad) al igual que la curva de la congestión (Velocidad vs Intensidad) nos muestra que alrededor de 5 horas de la jornada diaria presentan un nivel de servicio pobrísimos “F”.

4) Velocidad media vs densidad vehicular.

La curva que relaciona la velocidad media versus la densidad vehicular, es una recta de pendiente negativa. Esta pendiente se aproxima a 1, esto nos muestra la relación cuasi indirectamente proporcional de la densidad vehicular de una vía con la velocidad. Es decir a mayor densidad (mayor saturación de la vía) menor es la velocidad de servicio de la vía. Entonces esta curva nos muestra el grado de influencia de la saturación de a vía en la formación del fenómeno de la congestión.

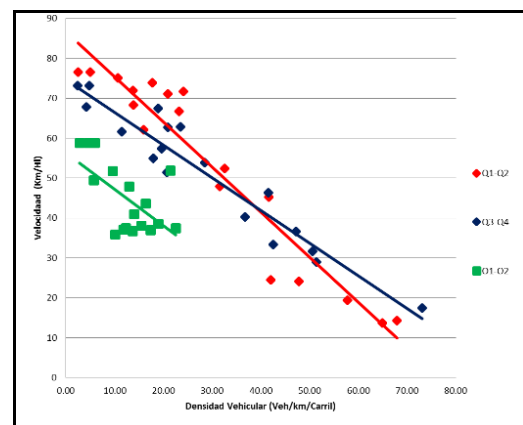


Fig. 24 Curvas Velocidad vs Densidad – Este-Oeste.

PARA Q1-Q2:
 $V = -0.82xD + 74.697$
 $R^2 = 0.9199$

PARA Q3-Q4:
 $V = -1.1289xD + 86.564$
 $R^2 = 0.9165$

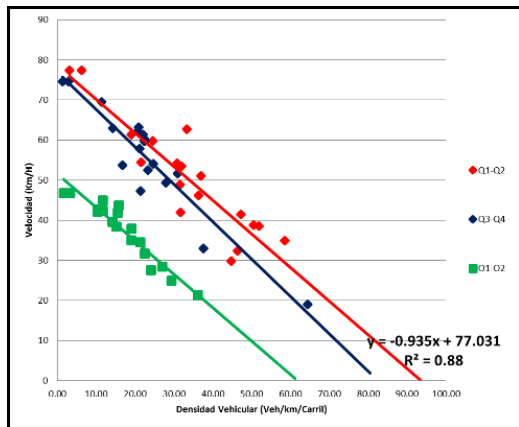


Fig. 25 Curvas Velocidad vs Densidad – Oeste-Este.

PARA Q1-Q2:
 $V = -0.8383xD + 78.508$
 $R^2 = 0.8264$

PARA Q3-Q4:
 $V = -0.935xD + 77.031$
 $R^2 = 0.88$

V. CONCLUSIONES

La infraestructura vial de la Vía Expresa es utilizada entre el 60% y 90% de su capacidad. Los mayores picos se observan en períodos sin congestión. La congestión provoca una disminución de la capacidad vial de la infraestructura.

La vía auxiliar de la Av. Javier Prado es subutilizada, haciendo uso entre el 30% - 50% de su capacidad máxima observada, siendo este caso más crítico que el de la vía expresa.

Entre las principales hipótesis de la subutilización de la capacidad de la vía se pueden exponer:

- La discontinuidad geométrica del ancho de vía a lo largo del eje vial.
- La alta tasa de maniobras de cambio de carril.
- En el caso de las vías auxiliares se agrega además el caos provocado por la mala gestión del tráfico y del transporte público.

La intensidad vehicular varía entre 50% y 90% entre las 6:30 am y las 10 pm. Se observan dos valles de congestión, con velocidades que están por debajo de 20km/h. El primero entre las 7:30am y 9:00 am, y el segundo entre las 4pm y las 7:30pm.

La congestión provoca una degradación del Nivel de Servicio de la Infraestructura. Se observa horarios con Niveles alrededor de F, aproximadamente 5h/día.

Más del 60% de usuarios de transporte privado en el eje vial Javier Prado – La Marina realizan viajes largos de más de 10km.

En horario AM, El 78% del origen del flujo vehicular proviene de la zona este, probablemente La Molina y Santiago de Surco. En horario PM, Mas del 70% del origen del flujo vehicular proviene de la zona Oestes y Norte de la Av. Paseo de la Republica, probablemente de San Isidro, El Cercado entro otros. Esto demuestra que la mayor parte del flujo vehicular (mayor a 70%) realiza viajes mayores a 2.5 km en el eje vial Javier Prado.

En horario AM, el 92% del flujo se dirige hacia el Oeste de la Av. Aviación, probablemente a los distritos de San Isidro, Lince, Miraflores, el Cercado, Surquillo. En horario PM, El 90% del flujo se dirige hacia el Este de la Av. Evitamiento, probablemente a los distritos de La Molina, Suco, Ate.

El flujo se compone aproximadamente de: 70% automóviles, 20% camionetas, 6% combis/coasters, 2% camiones, 2% motos en la vía expresa.

Los viajes realizados a través de la vía expresa en su mayoría tienen un trayecto mayor de 2.5 km. En otras palabras, las vías expresas son utilizadas por la mayoría de usuarios para trayectos largos.

En Ciertos horarios, en especial en horas puntas (de 3 a 4 horas al día) se puede apreciar que la velocidad promedio en la vía principal (Vía Expresa) disminuye en un porcentaje considerable, llegando a igualar e incluso ser menor a la velocidad en las vías auxiliares (siendo esta una vía de menor capacidad y menor velocidad de diseño).

Las variables que muestran mayor relación con el fenómeno de la congestión son La intensidad vehicular, la velocidad media, las maniobras de cambio de carril.

La densidad vehicular que relaciona la intensidad vehicular y la velocidad media, nos muestra es el grado de saturación de la vía, y esto nos permite conocer el nivel de servicio durante toda la jornada diaria. Esto nos muestra la evidente relación de la densidad vehicular con el grado de saturación de la vía y esta con el fenómeno de la congestión.

Se plantea una ecuación típica de congestión en la Av. Javier Prado para predecir la velocidad en el sistema a partir de la intensidad vehicular horaria. Esta curva conformada por 2 curvas parabólicas que tienen que como punto de inicia en la intersección con una recta horizontal de velocidad 50 Km/H.

Se plantea una ecuación típica de saturación en la Av. Javier Prado a través de la cual se puede determinar el nivel de servicio de la vía en los diferentes horarios de la jornada. La relación de la Intensidad vehicular y la densidad vehicular

y relacionándolos con los valores establecidos por el HCM, se puede determinar el nivel de servicio.

Se plantea la curva que relaciona la velocidad media con la densidad vehicular de la vía, esta relación nos muestra la inminente relación cuasi indirectamente proporcional entre la velocidad y la densidad vehicular (que se relaciona con la saturación de la vía y esta con la congestión).

Este artículo de investigación proporciona los fundamentos matemáticos y técnicos que relacionan el fenómeno de la congestión con variables medibles en campo como Intensidad Vehicular, velocidad media, maniobras de cambio de carril y densidad vehicular (una variable dependiente).

REFERENCES

- [1] Consorcio BCEOM-GMI-WSA. (2005). Plan Intermodal de Transportes del Perú-MTC/OGPP.
- [2] JICA. (2009 Y 2012). Estudio de Factibilidad en el Plan Maestro de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú. Lima, Perú.
- [3] Mayor, C. y., & Grisales, C. (2011). Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones.
- [4] National Reseach Countil (2000). Highway Capacity Manual 2000.. California, EEUU.
- [5] Thomson, I., & Bull, A. (2002). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. REVISTA DE LA CEPAL 76, 13.
- [6] Tiveño, G., & Christiansen, J. (2008). Antídotos para la congestión y la inseguridad en el tránsito. proexpansion, 88.
- [7] Torres Vargas, Guillermo y Pérez Sánchez, José Arturo. Métodos de asignación de tránsito en redes regionales de carreteras: Dos alternativas de solución. Publicación Técnica No. 214 Sanfandila, Qro. 2002
- [8] VALDÉS A. "Ingeniería de tráfico", Ed DOSSAT, S.A., Madrid, España 1971