



Influencia de las motos en el flujo de saturación en intersecciones semaforizadas

Presentado por

Ledis Tatiana Miranda Velásquez

Informe de práctica presentado para optar al título de ingeniera civil

Asesora

Claudia Marcela Aldana Ramírez

MSc. en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Miranda, 2024)
Referencia	Miranda Velásquez, L (2024) <i>Influencia de las motos en el flujo de saturación en intersecciones semaforizadas</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio Cesar Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Lina María Berrouët Cadavid.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este logro a Dios, a mis padres Uriel Miranda y Sonia Velásquez, a mi hermana Yudy Miranda y a mi pareja Andrés Jaramillo, por el apoyo incondicional y acompañamiento en este proceso.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad de Antioquia y a los profesores que hicieron parte de este proceso de formación, en especial a la profesora Claudia Marcela Aldana Ramírez, asesora del presente proyecto, por su disposición, buena actitud, interés y paciencia como docente. A la Alcaldía de Medellín por permitirme desarrollar mi práctica académica, a las ingenieras Lina Esperanza Álvarez Quevedo, Angela Herminda Herrera Torres y a los ingenieros Nelson Fabian Rangel Crispin y Luis Daniel Antonio Mariño por el acompañamiento en el desarrollo de las prácticas.

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
1 Objetivos	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos.....	12
2 Marco teórico	13
3 Metodología	17
4 Resultados y análisis	19
5 Conclusiones	39
6 Referencias	40

Lista de tablas

Tabla 1	Composición vehicular acceso sur Carrera 42 con Calle 47	20
Tabla 2	Composición vehicular acceso occidente Carrera 42 con Calle 47	21
Tabla 3	Composición vehicular acceso norte Carrera 80 con Calle 50.....	22
Tabla 4	Composición vehicular acceso sur Carrera 80 con Calle 50	22
Tabla 5	Composición vehicular acceso occidente Carrera 80 con Calle 50	23
Tabla 6	Composición vehicular acceso oriente Carrera 80 con Calle 50.....	24
Tabla 7	Composición vehicular acceso occidente Carrera 34 con Calle 1	24
Tabla 8	Composición vehicular acceso oriente Carrera 34 con Calle 1	25
Tabla 9	Toma de información acceso occidente Carrera 42 con Calle 47	26
Tabla 10	Toma de información acceso sur Carrera 42 con Calle 47	26
Tabla 11	Toma de información acceso norte Carrera 80 con Calle 50	27
Tabla 12	Toma de información acceso sur Carrera 80 con Calle 50	27
Tabla 13	Toma de información acceso occidente Carrera 80 con Calle 50	28
Tabla 14	Toma de información acceso oriente Carrera 80 con Calle 50	28
Tabla 15	Toma de información acceso occidente Carrera 34 con Calle 1	29
Tabla 16	Toma de información acceso oriente Carrera 34 con Calle 1	29
Tabla 17	Flujos de saturación acceso occidente Carrera 42 con Calle 47	30
Tabla 18	Flujos de saturación acceso sur Carrera 42 con Calle 47	30
Tabla 19	Flujos de saturación acceso norte Carrera 80 con Calle 50.....	31
Tabla 20	Flujos de saturación acceso sur Carrera 80 con Calle 50.....	32
Tabla 21	Flujos de saturación acceso occidente Carrera 80 con Calle 50	32
Tabla 22	Flujos de saturación acceso oriente Carrera 80 con Calle 50.....	33

Tabla 23 Flujos de saturación acceso occidente Carrera 34 con Calle 133

Tabla 24 Flujos de saturación acceso oriente Carrera 34 con Calle 134

Tabla 25 Flujos de saturación y porcentajes de motos35

Tabla 26 Flujos de saturación y porcentajes de moto discriminados por maniobra.....36

Tabla 27 Flujos de saturación calculados con la ecuación 3 y ecuación 4.....38

Lista de figuras

Figura 1	Ecuaciones para el cálculo de los factores de ajuste para hallar flujo de saturación.....	13
Figura 2	Intervalos entre vehículos.	16
Figura 3	Ubicación de las intersecciones semaforizadas seleccionadas.	19
Figura 4	Composición vehicular acceso sur Carrera 42 con Calle 47	20
Figura 5	Composición vehicular acceso occidente Carrera 42 con Calle 47	21
Figura 6	Composición vehicular acceso norte Carrera 80 con Calle 50	21
Figura 7	Composición vehicular acceso sur Carrera 80 con Calle 50	22
Figura 8	Composición vehicular acceso occidente Carrera 80 con Calle 50	23
Figura 9	Composición vehicular acceso oriente Carrera 80 con Calle 50	23
Figura 10	Composición vehicular acceso occidente Carrera 34 con Calle 1	24
Figura 11	Composición vehicular acceso oriente Carrera 34 con Calle 1	25
Figura 12	Flujo de saturación vs porcentaje de motos (maniobra: continuar de frente).....	37
Figura 13	Flujo de saturación vs porcentaje de motos (maniobra: continuar de frente y girar a la derecha)	37

Siglas, acrónimos y abreviaturas

HCM	HIGHWAY CAPACITY MANUAL
HMD	Hora de Máxima Demanda
CIOS	Centro de Ingeniería y Operación de Semáforos

Resumen

En el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín se requiere frecuentemente estudios de tránsito donde se pueda evaluar el nivel de servicio y la capacidad de las vías para brindar una buena funcionalidad a sus usuarios, por ello en el presente estudio se realiza un análisis de la influencia que tienen las motos en el flujo de saturación en intersecciones semaforizadas, puesto que, la ciudad ha presentado un aumento significativo de motos adquiridas para ser utilizadas como modo de transporte, por tal razón se debe tener en cuenta que a diferencia de los autos, buses, camiones, los cuales ocupan un carril, las motos por ser vehículos ágiles y livianos y de acuerdo con la velocidad, se sitúan delante de las colas formadas por los vehículos en los accesos a la intersección y entre los autos, lo cual influye directamente en el flujo de saturación.

El estudio se realiza recolectando información en campo para encontrar el flujo de saturación por carril de acceso en las intersecciones semaforizadas seleccionadas y de esta manera relacionarlo con el porcentaje de motos, donde se encuentra que, a mayor presencia de motos el flujo de saturación disminuye.

Palabras clave: Flujo de saturación, intersección semaforizada, intervalo, motos, vehículos.

Abstract

In the Special District of Science, Technology and Innovation of Medellín, traffic studies are frequently required where the level of service and the capacity of the roads to provide good functionality to their users can be evaluated, therefore this study is carried out an analysis of influence that motorcycles have in the saturation flow at traffic lighted intersections, since the city has presented a significant increase in motorcycles acquired to be used as a mode of transportation, for this reason it must be taken into account that unlike cars, buses, trucks, which occupy a lane, motorcycles, because they are agile and light vehicles and according to the speed, are placed in front of the queues formed by vehicles at the entrances to the intersection and between the cars, which directly influences the saturation flow.

The study is carried out by collecting information in the field to find the saturation flow per access lane at the selected traffic lighted intersections and in this way relate it to the percentage of motorcycles, where it is found that, the greater the presence of motorcycles, the saturation flow decreases.

Keywords: Saturation flow, traffic light intersection, interval, motorcycles, vehicles

Introducción

La tasa de flujo de saturación es una variable usada para calcular la capacidad de un acceso a una intersección semaforizada. Cuando el semáforo cambia de color rojo a color verde, el paso de los vehículos se incrementa a una tasa equivalente al flujo de saturación, la cual es constante hasta que se disipa la cola formada en el acceso o hasta que se termina el tiempo de verde en el semáforo.

El flujo de saturación tiene gran importancia a la hora de evaluar el rendimiento en una intersección semaforizada, por esto tiene diversas aplicaciones en los análisis de ingeniería de tránsito y transporte, algunas son la elaboración de los diseños de los planeamientos de tráfico para establecer los planes de tiempos a asignar en la intersección, el cálculo de la capacidad de los accesos, la evaluación de los niveles de servicio de la infraestructura vial, entre otras.

La finalidad de este estudio es analizar la influencia que tienen las motos en el flujo de saturación, dado que el tránsito mixto de vehículos en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín presenta un aumento acelerado de motos debido a su facilidad de movilización, ahorro de tiempo, facilidad de financiación, entre otras ventajas respecto a los demás modos de transporte, lo cual genera congestionamiento en las intersecciones viales y, por consiguiente, afectación en el flujo de saturación.

Para el desarrollo de este estudio se seleccionan tres intersecciones semaforizadas de referencia en distrito de Medellín y luego se procede a tomar información en campo para hallar el flujo de saturación.

Para la toma de datos en campo no se tienen en cuenta datos referentes a motocicletas y ciclistas debido a que el estudio considera que los autos, buses y camiones se movilizan por el centro del carril de las vías, mientras que las motocicletas tienen comportamientos diferentes, entre carriles, paralelos a los autos, adelante de las colas, en zigzag, entre otras.

El ejercicio se realiza en acompañamiento del ingeniero en Transporte y Vías, Nelson Fabian Rangel Crispin, además se hace entrega del estudio a la Secretaría de Movilidad de Medellín, el cual permite calcular el flujo de saturación y comprobar que a mayor porcentaje de motos el flujo de saturación del carril es menor.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Analizar la influencia que tienen las motos en el flujo de saturación en intersecciones que se encuentren semaforizadas, localizadas en la zona occidente, centro y sur del distrito.

1.2 Objetivos específicos

- Analizar información secundaria con el fin de establecer la hora de máxima demanda para la toma de datos en campo y la composición vehicular en las intersecciones viales.
- Tomar intervalos de tiempo entre el paso consecutivo de los vehículos cuando el semáforo cambia de rojo a verde hasta que se disipe la cola formada en el acceso o hasta que cambie el semáforo a color rojo nuevamente.
- Determinar el flujo de saturación en cada uno de los accesos de las intersecciones en las cuales se tomaron los datos.
- Determinar la influencia de las motos en el flujo de saturación tomando como referencia la composición vehicular obtenida de aforos realizados previamente.

2 Marco teórico

La tasa de flujo de saturación se define como la tasa máxima de flujo, en un acceso o grupo de carriles, que puede pasar a través de la intersección bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y la calle, suponiendo que dicho acceso o grupo de carriles tiene el 100% del tiempo disponible como verde efectivo (Cal et al., 2017).

El flujo de saturación, del grupo de carriles i , puede determinarse mediante estudios de campo o ajustarse con la siguiente expresión, tomada del HIGHWAY CAPACITY MANUAL (Transportation Research Board, 2000):

$$S_i = S_0 N_i f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

S_i : tasa de flujo de saturación ajustada del grupo de carriles i (vehículos/hora verde)

S_0 : tasa de flujo de saturación base (autos/hora verde/ carril)

N_i : número de carriles del grupo i

f_w : factor de ajuste por ancho de carriles

f_{HV} : factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo de tránsito

f_g : factor de ajuste por pendiente del acceso

f_p : factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles

f_{bb} : factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección

f_a : factor de ajuste por tipo de área

f_{LU} : factor de ajuste por utilización de carriles

f_{LT} : factor de ajuste por vueltas a la izquierda

f_{RT} : factor de ajuste por vueltas a la derecha

f_{Lpb} : factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la izquierda

f_{Rpb} : factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la derecha

A continuación, se muestran las ecuaciones para el cálculo de los factores de ajuste.

Figura 1

Ecuaciones para el cálculo de los factores de ajuste para hallar flujo de saturación

Factor	Formula	Definition of Variables	Notes
Lane width	$f_w = 1 + \frac{(W - 3.6)}{9}$	W = lane width (m)	W ≥ 2.4 If W > 4.8, a two-lane analysis may be considered
Heavy vehicles	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \% HV(E_T - 1)}$	% HV = % heavy vehicles for lane group volume	E _T = 2.0 pc/HV
Grade	$f_g = 1 - \frac{\% G}{200}$	% G = % grade on a lane group approach	-6 ≤ % G ≤ +10 Negative is downhill
Parking	$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N}$	N = number of lanes in lane group N _m = number of parking maneuvers/h	0 ≤ N _m ≤ 180 f _p ≥ 0.050 f _p = 1.000 for no parking
Bus blockage	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_B}{3600}}{N}$	N = number of lanes in lane group N _B = number of buses stopping/h	0 ≤ N _B ≤ 250 f _{bb} ≥ 0.050
Type of area	f _a = 0.900 in CBD f _a = 1.000 in all other areas		
Lane utilization	$f_{LU} = v_g / (v_{g1} N)$	v _g = unadjusted demand flow rate for the lane group, veh/h v _{g1} = unadjusted demand flow rate on the single lane in the lane group with the highest volume N = number of lanes in the lane group	
Left turns	Protected phasing: Exclusive lane: f _{LT} = 0.95 Shared lane: $f_{LT} = \frac{1}{1.0 + 0.05P_{LT}}$	P _{LT} = proportion of LTs in lane group	See Exhibit C16-1, Appendix C, for nonprotected phasing alternatives
Right turns	Exclusive lane: f _{RT} = 0.85 Shared lane: f _{RT} = 1.0 - (0.15)P _{RT} Single lane: f _{RT} = 1.0 - (0.135)P _{RT}	P _{RT} = proportion of RTs in lane group	f _{RT} ≥ 0.050
Pedestrian-bicycle blockage	LT adjustment: f _{Lpb} = $\frac{1.0 - P_{LT}(1 - A_{pbT})}{(1 - P_{LTA})}$ RT adjustment: f _{Rpb} = $\frac{1.0 - P_{RT}(1 - A_{pbT})}{(1 - P_{RTA})}$	P _{LT} = proportion of LTs in lane group A _{pbT} = permitted phase adjustment P _{LTA} = proportion of LT protected green over total LT green P _{RT} = proportion of RTs in lane group P _{RTA} = proportion of RT protected green over total RT green	Refer to Appendix D for step-by-step procedure

Nota: Fuente HCM (2000)

El libro de Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones (Cal et al., 2017) menciona que la tasa de vehículos que cruzan la línea al arrancar es menor durante los primeros segundos, mientras los vehículos aceleran hasta alcanzar una velocidad de marcha normal. Similarmente, durante el período posterior a la terminación del verde, la tasa de vehículos que cruzan la línea es menor debido a que algunos vehículos disminuyen su velocidad o se detienen, por ello, el flujo de saturación se calcula sólo a partir de los avances después de que el cuarto vehículo en la cola pasa la línea de parada o punto de referencia y termina cuando el eje delantero del último vehículo en la cola cruza la línea de parada (Transportation Research Board, 2000). Para el presente estudio se realiza la modificación en la metodología teniendo en cuenta el intervalo desde el primer segundo de verde y el paso del primer vehículo con referencia en la línea de pare, sustentada en que se demanda alta proporción del verde para disipar la cola y no se tienen en cuenta los tiempos perdidos al inicio del verde, los cuales ocurren en todos los n ciclos de la hora.

En cuanto a los intervalos de tiempo, se define:

- Intervalo simple (h_i): Es el intervalo de tiempo entre el paso de dos vehículos consecutivos, generalmente expresado en segundos y medido entre puntos homólogos del par de vehículos (Cal et al., 2017).

- Intervalo promedio: Es el promedio de todos los intervalos simples (h_i) existentes entre los diversos vehículos que circulan por una vialidad. Por tratarse de un promedio se expresa en segundos por vehículo (s/veh) y se calcula mediante la siguiente expresión, tomada de (Cal et al., 2017):

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} h_i}{N - 1} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

\bar{h} : intervalo promedio (s/veh)

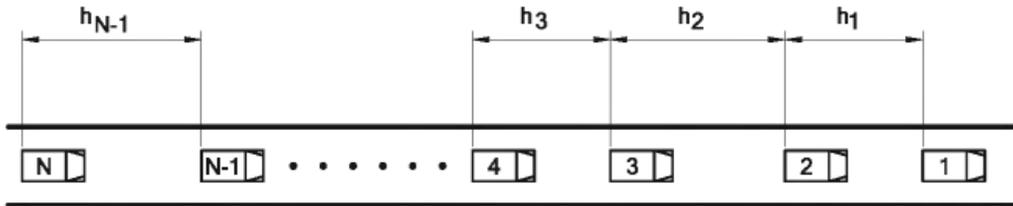
N: número de vehículos (veh)

N-1: número de intervalos (veh)

h_i : intervalo simple entre el vehículo i y el vehículo i+1

Figura 2

Intervalos entre vehículos.



Nota: Fuente: Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones (2017)

Para este estudio, en el cálculo del intervalo promedio, la variable N-1 no aplica, debido a que la línea de detención y el inicio del primer segundo de verde, con las correspondientes pérdidas al arranque, dan lugar al primer intervalo. Por tanto, en la *ecuación 2*, N-1 será reemplazado por N.

Para aplicar la metodología HCM, se necesita el volumen vehicular en la hora de máxima demanda para luego llevarlos a vehículos equivalentes con el fin de homogeneizar el flujo vehicular, en caso de que se requiera tomar como base de insumo de este estudio los factores de homologación son los siguientes:

Autos: 1.0; Buses: 2.3; Camiones 2.5; Motocicletas 0.3; Bicicletas 0.2.

3 Metodología

Se proponen cuatro etapas para el desarrollo del proyecto:

1. Selección de intersecciones y aforos de referencia: Se tomarán 3 intersecciones como referencia para elaborar el estudio, las cuales contarán con datos de aforo realizados previamente, que permitan calcular la hora de máxima demanda (HMD) y determinar la distribución y composición vehicular. Adicional, se requiere información de jerarquización vial de modo que las intersecciones seleccionadas sean representativas de la ciudad.
2. Toma de información para el cálculo del flujo de saturación: Luego de seleccionar las intersecciones de referencia se procederá a tomar información en cada una de ellas en diferentes días, en la hora de máxima demanda. Para cada uno de los carriles de los accesos y grupos semaforizados de las intersecciones se procederá a ubicar dos aforadores frente a la línea de pare o de detención, uno de ellos con cronómetro inicia el conteo al primer segundo del inicio de verde hasta el paso del último vehículo referenciado como en cola al final del rojo, el segundo aforador anotara los datos de los vehículos que pasan en ese intervalo, identificará e informará el último vehículo en cola. Por cada uno de los carriles se tomarán tres muestras y si el tiempo de verde es menor que el tiempo necesario para evacuar la cola, se tendrá como referencia el último vehículo que despeja. Para este ejercicio no se toman datos referentes a motocicletas y ciclistas debido a que como considera el estudio, para este parámetro de flujo de saturación, los vehículos, buses y camiones utilizan carril, mientras que las motocicletas tienen comportamientos diferentes. El ejercicio permite reflejar el cálculo del flujo de saturación y la influencia que tienen las motocicletas en este parámetro.
3. Procesamiento de datos para obtener el flujo de saturación por carril, acceso y grupo semaforizado: Para cada carril, acceso y grupo semaforizado se elabora una hoja de cálculo donde se transcriben los datos aforados y se plasman los datos en tres muestras de tres ciclos. Para el caso de los vehículos mixtos se cuentan y suman las unidades y para el caso de los vehículos equivalentes, se afectan por el factor de homologación y

se suman. Los valores de los factores de homologación son los que propone TPD Ingeniería S.A. en el procesamiento de los datos suministrados de su contrato de aforos:

Autos: 1.0 ; Buses: 2.3 ; Camiones 2.5 ; Motocicletas 0.3 ; Bicicletas 0.2.

Con el procesamiento de datos se hallarán los flujos de saturación por carril y por grupo semaforizado.

4. Análisis de datos y conclusiones: Se realizará análisis de la influencia que tienen las motos en el flujo de saturación, para ello se hace uso de la composición vehicular calculada a partir de aforos y luego se realizarán las conclusiones correspondientes al estudio generándose recomendaciones para seguir calibrando y optimizando la red de semaforización electrónica, que en la mayoría de la ciudad opera en tiempos fijos y distribución uniforme de la demanda para el cálculo de los tiempos de verde y tiempos de ciclos de operación.

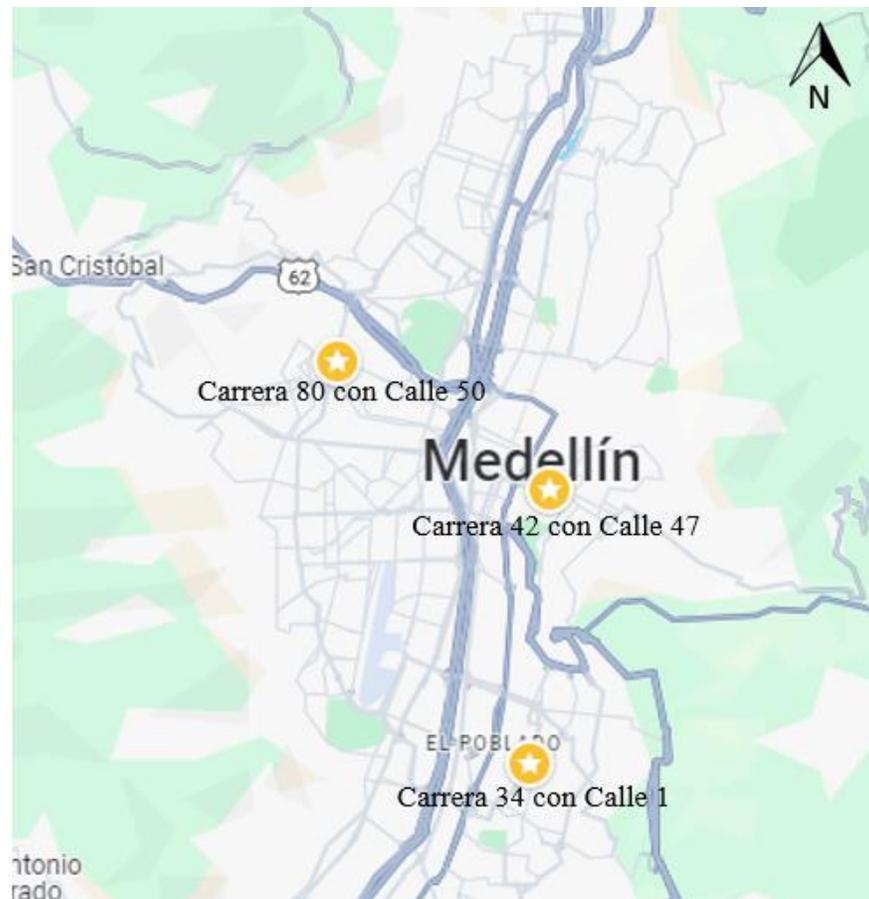
4 Resultados y análisis

Se seleccionaron tres intersecciones de referencia para el estudio, las cuales se encuentran ubicadas en el centro, occidente y sur del Distrito, también se tuvo en cuenta la información de jerarquización vial de manera que los cruces viales fueran representativos para obtener resultados más precisos. Las intersecciones semaforizadas seleccionadas son las siguientes:

- Carrera 42 con Calle 47 (centro)
- Carrera 80 con Calle 50 (occidente)
- Carrera 34 con calle 1 (sur)

Figura 3

Ubicación de las intersecciones semaforizadas seleccionadas.



Nota: Fuente: Google maps (2024)

Las intersecciones cuentan con datos de aforo realizados previamente por la empresa TPD Ingeniería S.A., los cuales permitieron calcular la hora de máxima demanda (HMD) de cada cruce vial con el fin de tomar la información en las intersecciones en dichas horas, también se determinó la distribución y composición vehicular de los accesos:

- **Carrera 42 con Calle 47:** Hora de máxima demanda: 17:30 - 18:30
 - Acceso sur

Figura 4

Composición vehicular acceso sur Carrera 42 con Calle 47

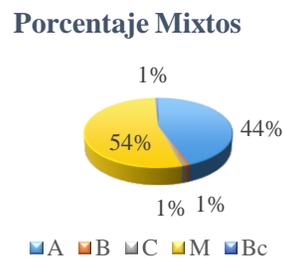


Tabla 1

Composición vehicular acceso sur Carrera 42 con Calle 47

Tipo Vehículo	Cantidad	%
Auto (A)	322	44%
Bus (B)	4	1%
Camión (C)	6	1%
Moto (M)	389	54%
Bicicletas (Bc)	6	1%
Total	727	100%

- Acceso occidente

Figura 5

Composición vehicular acceso occidente Carrera 42 con Calle 47



Tabla 2

Composición vehicular acceso occidente Carrera 42 con Calle 47

Tipo Vehículo	Cantidad	%
A	348	34%
B	130	13%
C	7	1%
M	527	51%
Bc	12	1%
Total	1024	100%

- **Carrera 80 con Calle 50:** Hora de máxima demanda: 17:15 - 18:15
- Acceso norte

Figura 6

Composición vehicular acceso norte Carrera 80 con Calle 50



Tabla 3

Composición vehicular acceso norte Carrera 80 con Calle 50

Tipo vehículo	Cantidad	%
A	739	40%
B	97	5%
C	20	1%
M	992	53%
Bc	21	1%
Total	1869	100%

- Acceso sur

Figura 7

Composición vehicular acceso sur Carrera 80 con Calle 50



Tabla 4

Composición vehicular acceso sur Carrera 80 con Calle 50

Tipo vehículo	Cantidad	%
A	699	30%
B	22	1%
C	15	1%
M	1542	66%
Bc	50	2%
Total	2328	100%

- Acceso occidente

Figura 8

Composición vehicular acceso occidente Carrera 80 con Calle 50



Tabla 5

Composición vehicular acceso occidente Carrera 80 con Calle 50

Tipo vehículo	Cantidad	%
A	736	49%
B	60	4%
C	21	1%
M	648	43%
Bc	34	2%
Total	1499	100%

- Acceso oriente

Figura 9

Composición vehicular acceso oriente Carrera 80 con Calle 50



Tabla 6

Composición vehicular acceso oriente Carrera 80 con Calle 50

Tipo vehículo	Cantidad	%
A	546	29%
B	68	4%
C	22	1%
M	1194	64%
Bc	28	2%
Total	1858	100%

- **Carrera 34 con Calle 1:** Hora de máxima demanda: 17:30 - 18:30
- Acceso occidente

Figura 10

Composición vehicular acceso occidente Carrera 34 con Calle 1

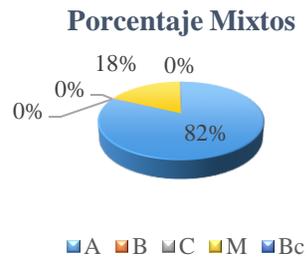


Tabla 7

Composición vehicular acceso occidente Carrera 34 con Calle 1

Tipo vehículo	Cantidad	%
A	693	82%
B	1	0%
C	1	0%
M	149	18%
Bc	2	0%
Total	846	100%

- Acceso oriente

Figura 11

Composición vehicular acceso oriente Carrera 34 con Calle 1



Tabla 8

Composición vehicular acceso oriente Carrera 34 con Calle 1

Tipo vehículo	Cantidad	%
A	695	68%
B	6	1%
C	4	0%
M	319	31%
Bc	4	0%
Total	1028	100%

De los resultados anteriores se observa que la hora de máxima demanda para las tres intersecciones se da en la tarde, lo cual indica que las intersecciones cuentan con mayor tránsito vehicular en la hora pico de la tarde que en la hora pico de la mañana. La composición vehicular evidencia alto porcentaje de motos en los accesos a los cruces viales, especialmente en el centro y en el occidente del Distrito, en la intersección de la zona sur se encuentran porcentajes de motos más bajos que las demás intersecciones (18% de motos en el acceso occidente), el mayor porcentaje de motos se encuentra en el acceso sur la carrera 80 con calle 50 con un 66%.

Luego de seleccionar las intersecciones de referencia se procedió a tomar la información en campo en la hora de máxima demanda, para cada uno de los carriles de acceso a la intersección se tomaron tres muestras del número y tipo de vehículos (A: Auto, B: Bus, C: Camión) que pasaron

y el tiempo (segundos) desde el inicio de verde hasta el paso del último vehículo referenciado como en cola al final del rojo:

- **Carrera 42 con Calle 47**

Tabla 9

Toma de información acceso occidente Carrera 42 con Calle 47

Acceso Occidente						
						
	3B			3A		
Medición	1	2	3	1	2	3
1	A	A	A	A	B	B
2	A	A	A	B	B	B
3	A	A	A	A	A	B
4	A	A	A	A	A	A
5	A	A	A	A	A	A
6	A	A	A	A	A	A
7	22.59	A	21.13	19.39	A	29.6
8	20.93			A		
9				A		
10				A		
11				32.85		

Tabla 10

Toma de información acceso sur Carrera 42 con Calle 47

Acceso sur						
						
	2B			2A		
Medición	1	2	3	1	2	3
1	A	A	A	A	A	A
2	A	A	C	A	A	A
3	A	A	A	A	A	A
4	A	A	A	A	A	A
5	A	A	A	A	A	A
6	A	A	A	A	A	A
7	A	A	A	A	A	C
8	A	A	39.6	A	37.08	28.14
9	32.36	A		A		
10	40.31			A		
11				40.38		

• **Carrera 80 con Calle 50**

Tabla 11

Toma de información acceso norte Carrera 80 con Calle 50

Acceso Norte						
Medición	 1A			 1B		
	1	2	3	1	2	3
1	A	A	A	A	B	A
2	A	B	B	B	A	A
3	A	A	A	A	B	B
4	A	A	A	B	A	A
5	A	A	A	17.65	B	A
6	A	A	A		21.72	A
7	A	A	A			A
8	21.75	A	A			B
9		29.2	A			43.8
10			A			
11			A			
12			A			
13			A			
14			51.8			

Tabla 12

Toma de información acceso sur Carrera 80 con Calle 50

Acceso Sur						
Medición	 2A			 2B		
	1	2	3	1	2	3
1	A	A	A	A	A	A
2	A	A	A	B	A	A
3	A	A	A	A	A	A
4	A	A	A	A	A	A
5	A	A	22.15	A	A	A
6	20.59	A		22.35	A	A
7		23.51			22.84	A
8						21.65

Tabla 13

Toma de información acceso occidente Carrera 80 con Calle 50

Acceso Occidente						
						
3A			3B			
Medición	1	2	3	1	2	3
1	A	A	A	A	A	A
2	A	C	A	A	A	A
3	A	A	A	A	A	A
4	A	9.65	A	A	C	A
5	A		A	B	A	A
6	A		A	A	17.5	19.14
7	17.74		A	19.17		
8			18.24			

Tabla 14

Toma de información acceso oriente Carrera 80 con Calle 50

Acceso Oriente						
						
4A			4B			
Medición	1	2	3	1	2	3
1	A	A	A	A	A	B
2	A	A	A	A	A	B
3	A	A	A	A	A	A
4	15.95	B	A	B	B	A
5		A	A	12.92	A	24.64
6		26.37	A		B	
7			21.19		34.75	

• Carrera 34 con Calle 1

Tabla 15

Toma de información acceso occidente Carrera 34 con Calle 1

Acceso Occidente						
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  3A </div> <div style="text-align: center;">  3B </div> </div>						
Medición	1	2	3	1	2	3
1	A	A	A	A	A	A
2	A	A	A	A	A	A
3	A	A	A	A	A	A
4	A	A	12.98	A	9.41	A
5	A	A		A		12.24
6	A	19.4		A		
7	A			A		
8	A			20.4		
9	19.92					

Tabla 16

Toma de información acceso oriente Carrera 34 con Calle 1

Acceso Oriente						
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  4A </div> <div style="text-align: center;">  4B </div> </div>						
Medición	1	2	3	1	2	3
1	A	A	A	A	A	A
2	A	A	A	A	A	A
3	A	A	A	A	A	A
4	11.45	12.81	A	A	A	A
5			A	A	A	11.4
6			A	A	14.46	
7			19.57	A		
8				A		
9				A		
10				23.25		

En la toma de información en campo se pudo corroborar el comportamiento de las motos, las cuales no ocupan un carril, sino que se ubican delante de los carros, entre ellos y en zigzag,

cuando el semáforo cambia de color rojo a color verde, la pérdida en el arranque del primer auto se debe a la espera del despeje de las motos.

Seguidamente se realizó el procesamiento de los datos obtenidos en campo para encontrar el flujo de saturación en vehículos mixtos y equivalentes por carril de acceso y por grupo semaforizado para cada intersección:

- **Carrera 42 con Calle 47**

Tabla 17

Flujos de saturación acceso occidente Carrera 42 con Calle 47

Acceso Occidente												
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  3B </div> <div style="text-align: center;">  3A </div> </div>												
Medición	1		2		3		1		2		3	
1	A	1	A	1	A	1	A	1	B	2.3	B	2.3
2	A	1	A	1	A	1	B	2.3	B	2.3	B	2.3
3	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	B	2.3
4	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
5	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
6	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
7	22.59		A	1	21.13		19.39		A	1	29.6	
8	20.93								A	1		
9									A	1		
10									A	1		
11									32.85			
Total vehículos	6	6	7	7	6	6	6	7.3	10	12.6	6	9.9
Tiempo de paso	3.77	3.77	2.99	2.99	3.52	3.52	3.23	2.66	3.29	2.61	4.93	2.99
Tiempo de paso (Mixtos)			3.43						3.82			
Flujo de Saturación (Mixtos)			1051						944			
Tiempo de paso (Equival.)			3.43						2.75			
Flujo de Saturación (Equival.)			1051						1309			

Tabla 18

Flujos de saturación acceso sur Carrera 42 con Calle 47

Acceso sur												
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  2B </div> <div style="text-align: center;">  2A </div> </div>												
Medición	1		2		3		1		2		3	
1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
2	A	1	A	1	C	2.5	A	1	A	1	A	1

3	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
4	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
5	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
6	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
7	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	C	2.5
8	A	1	A	1	39.6		A	1	37.08		28.14	
9	32.36		A	1			A	1				
10			40.31				A	1				
11							40.38					
Total vehículos	8	8	9	9	7	8.5	10	10	7	7	7	8.5
Tiempo de paso	4.05	4.05	4.48	4.48	5.66	4.66	4.04	4.04	5.30	5.30	4.02	3.31
Tiempo de paso (Mixtos)				4.73						4.45		
Flujo de Saturación (Mixtos)				762						809		
Tiempo de paso (Equival.)				4.39						4.22		
Flujo de Saturación (Equival.)				819						854		

• **Carrera 80 con Calle 50**

Tabla 19

Flujos de saturación acceso norte Carrera 80 con Calle 50

Acceso Norte												
Medición	1A						1B					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	A	1	A	1	A	1	A	1	B	2.3	A	1
2	A	1	B	2.3	B	2.3	B	2.3	A	1	A	1
3	A	1	A	1	A	1	A	1	B	2.3	B	2.3
4	A	1	A	1	A	1	B	2.3	A	1	A	1
5	A	1	A	1	A	1	17.65		B	2.3	A	1
6	A	1	A	1	A	1			21.72		A	1
7	A	1	A	1	A	1					A	1
8	21.75		A	1	A	1					B	2.3
9			29.2		A	1					43.8	
10					A	1						
11					A	1						
12					A	1						
13					A	1						
14					51.8							
Total vehículos	7	7	8	9.3	13	14.3	4	6.6	5	8.9	8	10.6
Tiempo de paso	3.1	3.1	3.7	3.1	4.0	3.6	4.4	2.7	4.3	2.4	5.5	4.1
Tiempo de paso (Mixtos)				3.58						4.74		
Flujo de Saturación (Mixtos)				1006						759		
Tiempo de paso (Equival.)				3.3						3.1		
Flujo de Saturación (Equival.)				1095						1168		

Tabla 20

Flujos de saturación acceso sur Carrera 80 con Calle 50

Acceso Sur													
													
	2A						2B						
Medición	1		2		3		1		2		3		
1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	
2	A	1	A	1	A	1	B	2.3	A	1	A	1	
3	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	
4	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	
5	A	1	A	1	22.15		A	1	A	1	A	1	
6	20.59		A	1			22.35		A	1	A	1	
7			23.51						22.84		A	1	
8											21.65		
Total vehículos	5	5	6	6	4	4	5	6.3	6	6	7	7	
Tiempo de paso	4.12	4.12	3.92	3.92	5.54	5.54	4.47	3.55	3.81	3.81	3.09	3.09	
Tiempo de paso (Mixtos)			4.52						3.79				
Flujo de Saturación (Mixtos)			796						950				
Tiempo de paso (Equival.)			4.5						3.5				
Flujo de Saturación (Equival.)			796						1034				

Tabla 21

Flujos de saturación acceso occidente Carrera 80 con Calle 50

Acceso Occidente													
													
	3A						3B						
Medición	1		2		3		1		2		3		
1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	
2	A	1	C	2.5	A	1	A	1	A	1	A	1	
3	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	
4	A	1	9.65		A	1	A	1	C	2.5	A	1	
5	A	1			A	1	B	2.3	A	1	A	1	
6	A	1			A	1	A	1	17.5		19.14		
7	17.74				A	1	19.17						
8					18.24								
Total vehículos	6	6	3	4.5	7	7	6	7.3	5	6.5	5	5	
Tiempo de paso	2.96	2.96	3.22	2.14	2.61	2.61	3.20	2.63	3.50	2.69	3.83	3.83	
Tiempo de paso (Mixtos)			2.93						3.51				
Flujo de Saturación (Mixtos)			1231						1027				
Tiempo de paso (Equival.)			2.6						3.0				
Flujo de Saturación (Equival.)			1402						1181				

Tabla 22

Flujos de saturación acceso oriente Carrera 80 con Calle 50

Acceso Oriente												
												
	4A						4B					
Medición	1		2		3		1		2		3	
1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	B	2.3
2	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	B	2.3
3	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
4	15.95		B	2.3	A	1	B	2.3	B	2.3	A	1
5			A	1	A	1	12.92		A	1	24.64	
6			26.37		A	1			B	2.3		
7					21.19				34.75			
Total vehículos	3	3	5	6.3	6	6	4	5.3	6	8.6	4	6.6
Tiempo de paso	5.32	5.32	5.27	4.19	3.53	3.53	3.23	2.44	5.79	4.04	6.16	3.73
Tiempo de paso (Mixtos)			4.71						5.06			
Flujo de Saturación (Mixtos)			765						712			
Tiempo de paso (Equival.)			4.3						3.4			
Flujo de Saturación (Equival.)			829						1058			

• **Carrera 34 con Calle 1**

Tabla 23

Flujos de saturación acceso occidente Carrera 34 con Calle 1

Acceso Occidente												
												
	3A						3B					
Medición	1		2		3		1		2		3	
1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
2	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
3	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1
4	A	1	A	1	12.98		A	1	9.41		A	1
5	A	1	A	1			A	1			12.24	
6	A	1	19.4				A	1				
7	A	1					A	1				
8	A	1					20.4					
9	19.92											
Total	8	8	5	5	3	3	7	7	3	3	4	4
Tiempo de paso	2.49	2.49	3.88	3.88	4.33	4.33	2.91	2.91	3.14	3.14	3.06	3.06
Tiempo de paso (Mixtos)			3.57						3.04			
Flujo de Saturación (Mixtos)			1010						1186			
Tiempo de paso (Equival.)			3.6						3.0			
Flujo de Saturación (Equival.)			1010						1186			

Tabla 24

Flujos de saturación acceso oriente Carrera 34 con Calle 1

Acceso Oriente													
													
	4A						4B						
Medición	1		2		3		1		2		3		
1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	
2	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	
3	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	A	1	
4	11.45		12.81		A	1	A	1	A	1	A	1	
5					A	1	A	1	A	1	11.4		
6					A	1	A	1	14.46				
7					19.57		A	1					
8							A	1					
9							A	1					
10							23.25						
Total	3	3	3	3	6	6	9	9	5	5	4	4	
	3.82	3.82	4.27	4.27	3.26	3.26	2.58	2.58	2.89	2.89	2.85	2.85	
Tiempo de paso (Mixtos)			3.78						2.78				
Flujo de Saturación (Mixtos)			952						1298				
Tiempo de paso (Equival.)			3.8						2.8				
Flujo de Saturación (Equival.)			952						1298				

Los valores del flujo de saturación calculados no corresponden al flujo base de saturación, sino que este ya se encuentra afectado por las diferentes variables de cada acceso puesto que fue medido en campo, así mismo, se evidencia que el flujo de saturación es mayor en vehículos equivalentes que en vehículos mixtos, esto se debe a la presencia de buses y camiones en los accesos, donde su factor equivalente es 2.3 y 2.5 respectivamente, por ello incrementa el número total de vehículos y en efecto, el flujo de saturación también aumenta.

El Centro de Ingeniería y Operación de Semáforos (CIOS) ha determinado que los mejores índices de efectividad medidos, como la evaluación en campo de los análisis de capacidad y nivel de servicio son más congruentes cuando el cálculo de flujo de saturación se realiza para vehículos mixtos, afectados por la presencia y composición en el tránsito de motocicletas como se aplicó en el presente estudio. Con los valores hallados de flujo de saturación por carril, se relaciona este parámetro en vehículos mixtos con el porcentaje de motos por acceso de cada intersección, el cual se toma de la composición vehicular, para finalmente encontrar la influencia del porcentaje de motos en el flujo de saturación según la maniobra que se permite realizar en cada carril.

Tabla 25

Flujos de saturación y porcentajes de motos

Acceso Norte (Mixtos)						
						
INTERSECCIÓN	Flujo de saturación	% Motos	Flujo de saturación	% Motos	Flujo de saturación	% Motos
CR42XCL47						
CR80XCL50	1006	53%	759	53%		
CR34XCL1						
Acceso Sur (Mixtos)						
						
INTERSECCIÓN	Flujo de saturación	% Motos	Flujo de saturación	% Motos	Flujo de saturación	% Motos
CR42XCL47						
CR80XCL50	809	54%	762	54%		
CR34XCL1	796	66%	950	66%		
Acceso Occidente (Mixtos)						
						
INTERSECCIÓN	Flujo de saturación	% Motos	Flujo de saturación	% Motos	Flujo de saturación	% Motos
CR42XCL47						
CR80XCL50	944	51%	1027	43%	1051	53%
CR34XCL1	1231	43%	1186	21%		
Acceso Oriente (Mixtos)						
						
INTERSECCIÓN	Flujo de saturación	% Motos	Flujo de saturación	% Motos	Flujo de saturación	% Motos
CR42XCL47						
CR80XCL50	765	64%	712	64%		
CR34XCL1	952	31%	1298	31%		
PROMEDIO FLUJO SATURACIÓN	940		957		1051	

Los datos de la tabla anterior se encuentran clasificados por intersección y por maniobra permitida en el carril de acceso, sin embargo, para fines prácticos del estudio se organizan según la maniobra y en orden ascendente del porcentaje de motos para graficar los datos:

Tabla 26

Flujos de saturación y porcentajes de moto discriminados por maniobra

					
Flujo de saturación	% Motos	Flujo de saturación	% Motos	Flujo de saturación	% Motos
1010	18%	1186	21%	1050.92	53%
952	31%	1298	31%		
1231	43%	1027	43%		
944	51%	759	53%		
1006	53%	762	54%		
809	54%	712	64%		
765	64%	950	66%		
796	66%				

Con el fin de encontrar relación en los datos anteriores se halla la ecuación de la línea de tendencia que mejor se ajusta a los datos, la cual permite calcular el flujo de saturación según el porcentaje de motos de cada carril.

Figura 12

Flujo de saturación vs porcentaje de motos (maniobra: continuar de frente)

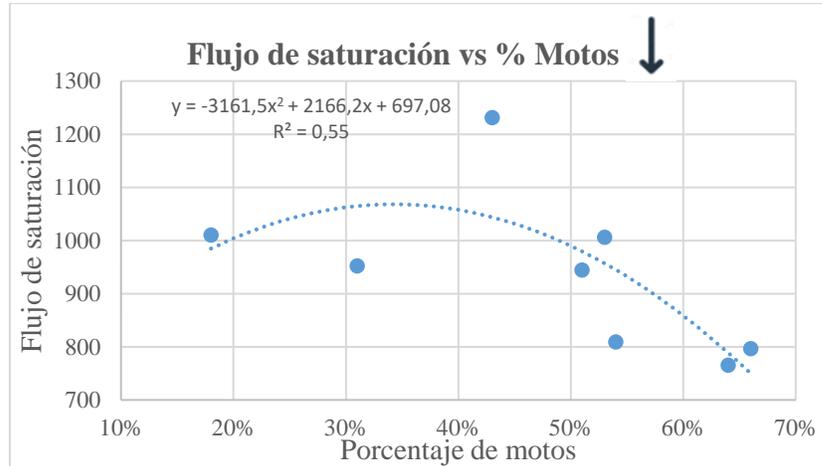
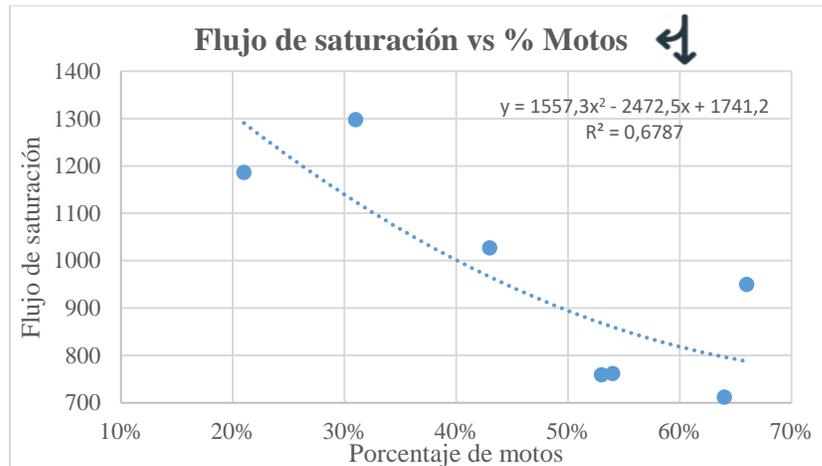


Figura 13

Flujo de saturación vs porcentaje de motos (maniobra: continuar de frente y girar a la derecha)



De las figuras mostradas se analiza que la línea de tendencia polinómica fue la que mejor se ajustó a los datos, donde se contempla, en la mayoría de los datos, la disminución del flujo de saturación a medida que el porcentaje de motos incrementa. Las ecuaciones correspondientes a las líneas de tendencia son las siguientes:

$$fs = -3161.5M^2 + 2166.2M + 697.08$$

Ecuación 3

$$f_s = 1557.3M^2 - 2472.5M + 1741.2$$

Ecuación 4

Donde:

f_s : Flujo de saturación

M : Porcentaje de motos (0.0 - 1.0)

Obsérvese que en la *ecuación 4* para un valor de 0% de motos, el flujo de saturación es de 1741 vehículos/hora verde, es importante mencionar que el ejercicio se ha generado por toma de información directa en campo, por ello los valores arrojados no corresponden al flujo base de saturación, sino al flujo de saturación calculado, es decir, el flujo de saturación ya se encuentra afectado por las diferentes variables.

Con las ecuaciones anteriores se realizó nuevamente el cálculo de flujo de saturación para los valores correspondientes de porcentaje de motos, los resultados son los siguientes:

Tabla 27

Flujos de saturación calculados con la *ecuación 3* y *ecuación 4*



Flujo de saturación	%Motos	Flujo de saturación	%Motos
985	18%	1291	21%
1065	31%	1125	31%
1044	43%	966	43%
980	51%	869	53%
958	53%	861	54%
945	54%	797	64%
789	64%	788	66%
750	66%		

Los nuevos cálculos muestran relación similar con los datos de la **Tabla 26** en el flujo de saturación y el porcentaje de motos, puesto que el flujo de saturación por carril disminuye a medida que la presencia de motos aumenta.

5 Conclusiones

1. De acuerdo con las actividades de toma de información en campo, se comprueba que las motos poseen un comportamiento diferente a los demás tipos de vehículos en las vías, ya que se forman en la parte inicial del acceso y entre carriles.
2. Las pérdidas al arranque del primer vehículo en cola están relacionadas con la presencia de las motocicletas en el componente de tránsito debido a que, por lo general se ubican en pelotón o grupo en el acceso del carril, por esto se debe evaluar la posibilidad de implementar en los diseños de señalización celdas para ubicación de motos justo después de la línea de detención.
3. Las motos tienen influencia considerable en el flujo de saturación, dado que, a mayor porcentaje de motos en el acceso, menor es el valor del flujo de saturación para el mismo, en la **Tabla 26** se observa que para un 18% de motos el flujo de saturación del acceso es de 1010 vehículos/hora verde mientras que para un 66% de motos el flujo de saturación es de 796 vehículos/hora verde
4. El flujo de saturación es un parámetro de gran importancia para la estimación de los planes de señales, la evaluación y análisis de capacidad y nivel de servicio como medida de la efectividad de los planes de tiempos, pues a partir de este se puede estimar la capacidad de un acceso y a partir de esta, el grado de saturación en la relación volumen/capacidad que varía y puede adaptarse al modificarse los tiempos de verde en un grupo semaforizado y de ciclo en la intersección.
5. Los tiempos de verde y los flujos de saturación se calculan por carril y pueden ser agrupados por calzadas, movimientos y trayectorias de acuerdo a como el ingeniero de planeamiento lo estime conveniente.
6. El Centro de Ingeniería y Operación de Semáforos (CIOS) ha determinado que los mejores índices de efectividad medidos, como la evaluación en campo de los análisis de capacidad y nivel de servicio que determina parámetros como lo son vehículos detenidos al final del rojo, longitud de cola, número de despejes, número de ciclos para evacuar una intersección, entre otros, son más congruentes cuando el cálculo de flujo de saturación se realiza para vehículos mixtos.

6 Referencias

Cal, R., Mayor, R., & Cárdenas, J. (2017). Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).

Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual*.

TPD Ingeniería. (s/f). TPD Ingeniería. Recuperado el 4 de septiembre de 2023, de <https://www.tpdingenieria.com/>