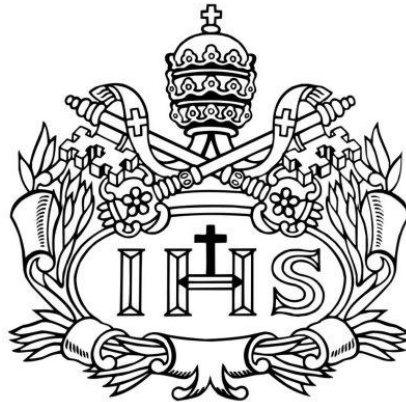


**INFLUENCIA POR LA PRESENCIA DE MOTOCICLETAS EN LA CAPACIDAD
VIAL DE ACCESOS SEMAFORIZADOS**

**VANESSA MOJICA ARBOLEDA
MARIA CRISTINA PERALTA CAMARGO**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2013**

**INFLUENCIA POR LA PRESENCIA DE MOTOCICLETAS EN LA CAPACIDAD
VIAL DE ACCESOS SEMAFORIZADOS**

**VANESSA MOJICA ARBOLEDA
MARIA CRISTINA PERALTA CAMARGO**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

**Director
Ingeniero CARLOS FABIÁN FLÓREZ VALERO**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2013**

Nombre de aceptación

Evaluador

Bogotá D.C., junio 04 de 2013

DEDICATORIA

*Agradezco a mis papás y a mis hermanos por su
colaboración infinita y grandes consejos.*

*A mis abuelitos que los llevo presentes en mi
mente y corazón*

*A Jonathan Yepes por el gran apoyo e
incondicional ayuda en este proceso*

Vanessa Mojica Arboleda

DEDICATORIA

*A mis papás por su cariño, fortaleza, y
por creer en mí siempre.*

*A mi hermana por su apoyo constante
e incondicional*

*A Jonathan Yepes por su ayuda
durante la elaboración de este trabajo.*

Maria Cristina Peralta Camargo

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de grado ha sido posible gracias al apoyo de nuestro director Carlos Fabián Flórez Valero, quién nos motivó y nos brindó un apoyo importante para su desarrollo, ya que sin su visión no hubiera sido posible su culminación.

Agradecemos a la Dirección de Control y Vigilancia de Bogotá D.C., especialmente al Ingeniero Juan Carlos Abreo Beltrán, director de control y vigilancia y a Camilo Gallego, por facilitarnos la documentación e información necesaria para el desarrollo de este trabajo de grado.

A la estudiante Mónica Alejandra Pimiento, de Ingeniería Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana y a su director de trabajo de grado, Alejandro Forero por su colaboración y asesoría para la implementación del software de captura automática de datos de tránsito.

Al Ingeniero Juan Manuel Robledo Restrepo por su disponibilidad para brindarnos su conocimiento acerca de temas relacionados con su trabajo de grado.

Finalmente queremos agradecer a nuestras familias por el apoyo brindado a lo largo de nuestros estudios universitarios.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	19
1. MARCO TEÓRICO	25
1.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁMBITO LOCAL.....	25
1.1.1. Composición del parque automotor.	27
1.2. CAPACIDAD EN VÍAS	28
1.3. INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS.	28
1.3.1. Movimientos vehiculares.....	29
1.3.2. Características geométricas.	30
1.4. METODOLOGÍAS UTILIZADAS.....	30
1.4.1. Volúmenes vehiculares HCM.....	30
1.4.2. Flujo de saturación por parámetros de afectación HCM.....	31
1.4.3. Método de Webster & Cobbe.....	31
1.4.4. Factor de equivalencia.....	32
1.4.5. Captura automática de datos (sistema de visión artificial).....	34
2. METODOLOGÍA	37
2.1. SELECCIÓN DE ACCESOS SEMAFORIZADOS	37
2.1.1. Conformación de la base de datos.	37
2.1.2. Filtros por parámetros de afectación del flujo de saturación.	38
2.1.3 Verificación en campo de los parámetros de accesos pre-seleccionados....	40
2.1.4. Resumen del proceso de selección de accesos semaforizados.....	43
2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ACCESOS SELECCIONADOS	44
2.2.1. Acceso de la Calle 100 con Carrera 49.....	44
2.2.2. Acceso de la Calle 100 con Carrera 53.....	46
2.2.3. Acceso de la Calle 100 con Carrera 60.....	48
2.2.4. Acceso de la Carrera 68 con Calle 98.....	50
2.2.5. Acceso de la Carrera 68 con Calle 23.....	52
2.2.6. Acceso de la Carrera 7 con Calle 106.....	54
2.3. SELECCIÓN DE PERÍODOS PARA LA TOMA DE INFORMACIÓN EN CAMPO.....	56
3. PROCEDIMIENTO DE CAMPO.....	57

3.1. TOMA DE INFORMACIÓN PRIMARIA	57
3.1.1. Prueba piloto de motocicletas respecto a la línea de pare.	57
3.1.2. Prueba piloto de software de visión artificial.	59
3.1.3. Tamaño mínimo de la muestra.	59
3.2. RECOLECCIÓN MANUAL DE DATOS.....	60
3.2.1. Cronograma para la toma de información.....	60
3.2.2. Observaciones en campo.	61
3.2.3. Motocicletas fuera y dentro del flujo.....	62
3.2.4. Capacitaciones personal contratado.....	65
3.3. RECOLECCIÓN AUTOMATICA DE DATOS	65
3.3.1. Consignación de datos.	67
4. INFORMACIÓN RECOPIADA EN CAMPO.....	70
4.1. OBSERVACIONES RECOPIADAS EN CAMPO.....	70
4.2. CICLOS QUE PRESENTARON SATURACIÓN EN CAMPO	72
4.3. MOTOCICLETAS FUERA DEL FLUJO VEHICULAR.	76
4.4. UNIFICACIÓN DE DATOS	77
5. RESULTADOS	78
5.1. FACTOR DE EQUIVALENCIA.....	78
5.1.1. Resumen estadístico por acceso.	78
5.1.2. Estimación de factores de equivalencia.	80
5.2. VOLÚMENES TOTALES.....	82
5.3. FLUJOS DE SATURACIÓN OBTENIDOS EN CAMPO	83
5.3.1. Resumen estadístico por acceso.	84
5.3.2. Flujo de saturación en veh./hora/carril.	85
5.3.3. Flujos de saturación por acceso.	92
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	93
6.1. COMPARACIÓN DE FACTORES DE EQUIVALENCIA A NIVEL MUNDIAL.....	93
6.2. COMPARACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN CON FACTOR EQUIVALENTE MEDIDO Y FACTOR EQUIVALENTE HCM 2000.....	94
6.3. VARIACIÓN HORARIA DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO.	95
6.4. FLUJO DE SATURACIÓN Y VOLÚMENES VEHICULARES	99
6.4.1 Relación entre flujo de saturación y volúmenes vehiculares.	99

6.4.2. Variación del volumen en hora de máxima demanda por acceso.	101
6.5. RELACIÓN ENTRE EL FLUJO DE SATURACIÓN Y PORCENTAJE DE MOTOCICLETAS	101
6.5.1. Relación entre el flujo de saturación y el porcentaje de motocicletas por carril.	101
6.5.2. Relación entre el flujo de saturación y el porcentaje de motocicletas por acceso.	102
6.6. ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE AJUSTE <i>F_m</i>	103
6.6.1. Flujo de saturación por factores de ajuste.	103
6.6.2. Flujo de saturación ajustado por <i>F_m</i>	104
6.6.3. Estimación del factor de ajuste por presencia de motocicletas (<i>F_m</i>).	106
6.6.5. Diferencias entre flujos de saturación, medidos y teóricos ajustados.	109
6.7. RELACIÓN DE FLUJO DE SATURACIÓN CON MOTOCICLETAS DENTRO DE FLUJO Y TOTAL DE MOTOCICLETAS	110
6.7.1. Relación de flujo de saturación con motocicletas dentro de flujo y total de motocicletas por carril.	110
6.7.2. Relación de flujo de saturación con motocicletas dentro de flujo y total de motocicletas por acceso.	112
7. CONCLUSIONES	118
8. RECOMENDACIONES	125
8.1. GENERALES	125
8.2. ESPECIFICAS	126

LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1. Representación de una intersección controlada por semáforo.	28
Esquema 2. Nomenclatura en una intersección semaforizada.	29
Esquema 3. Fases principales del sistema de visión artificial utilizado.	34
Esquema 4. Adquisición de videos.	36
Esquema 5. Visualización de archivos suministrados por control y vigilancia.	37
Esquema 6 . Resumen del proceso de selección de accesos semaforizados.	43
Esquema 7. Intersección de la Calle 100 x Carrera 49.	45
Esquema 8. Intersección de la Calle 100 x Carrera 53.	47
Esquema 9. Intersección de la Calle 100 x Carrera 60.	49
Esquema 10. Intersección de la Carrera 68 x Calle 98.	51
Esquema 11. Intersección de la Carrera 68 x Calle 23.	53
Esquema 12. Intersección de la Carrera 7 x Calle 106.	55
Esquema 13. Ubicación de personal en el acceso estudiado.	61
Esquema 14. Identificación de motocicletas dentro y fuera del flujo vehicular.	63
Esquema 15. Ubicación de cámara en el acceso estudiado.	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Centros de control semafórico de Bogotá D.C	25
Figura 2. Visualización punto central delantero.....	35
Figura 3. Identificación de línea de control para captura automática de vehículos	35
Figura 4. Intersecciones semaforizadas por presencia de vehículos pesados.	39
Figura 5. Intersecciones semaforizadas sin giros derechos e izquierdos.	39
Figura 6. Intersecciones semaforizadas filtradas sin giros.	40
Figura 7. Intersecciones semaforizadas seleccionadas.	42
Figura 8. Superposición de criterios.....	42
Figura 9. Calle 100 x Carrera 49.....	45
Figura 10. Calle 100 x Carrera 53.....	47
Figura 11. Calle 100 x Carrera 60.....	49
Figura 12. Carrera 68 x Calle 98.....	51
Figura 13. Carrera 68 x Calle 23.....	53
Figura 14. Carrera 7 x Calle 106.....	55
Figura 15 . Montaje del trípode y la cámara de video.....	65
Figura 16. Enfoques necesarios para la toma de información mediante videos.	66
Figura 17. Procesamiento de videos con el software de visión artificial.	67
Figura 18. Procesamiento de videos con el software de visión artificial para intervalos de paso entre vehículos.....	67
Figura 19. Carriles líneas de avances exclusivos para motocicletas	123
Figura 20. Clasificación de automóviles.....	132
Figura 21. Clasificación de buses.	132
Figura 22. Clasificación de camiones.....	133
Figura 23. Clasificación de motocicletas.	133

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Intersecciones semaforizadas de Bogotá D.C. por localidad 2013.	26
Gráfica 2. Composición del parque automotor registrado.	27
Gráfica 3. Clases de los vehículos de servicio particular activos.....	27
Gráfica 4. Modelo teórico de flujo de saturación método de Webster y Cobbe.....	32
Gráfica 5. Motocicletas respecto a la línea de pare (Prueba piloto).....	58
Gráfica 6. Ciclos saturados y no saturados (Mañana).....	74
Gráfica 7. Ciclos saturados y no saturados (Tarde).	74
Gráfica 8. Ciclos saturados vs Ciclos no saturados.	75
Gráfica 9. Comportamiento de las motocicletas fuera y dentro del flujo vehicular.	76
Gráfica 10. Análisis del comportamiento de la variación del intervalo.	81
Gráfica 11. Flujo de saturación carril derecho, Calle 100 por Carrera 49.	86
Gráfica 12. Flujo de saturación carril izquierdo, Calle 100 Carrera 49.....	86
Gráfica 13. Flujo de saturación carril derecho, Calle 100 Carrera 53.	87
Gráfica 14. Flujo de saturación carril izquierdo, Calle 100 Carrera 53.....	87
Gráfica 15. Flujo de saturación carril derecho, Calle 100 Carrera 60.	88
Gráfica 16. Flujo de saturación carril izquierdo, Calle 100 Carrera 60.....	88
Gráfica 17. Flujo de saturación carril derecho, Avenida 68 Calle 98.	89
Gráfica 18. Flujo de saturación carril izquierdo, Avenida 68 Calle 98.....	89
Gráfica 19. Flujo de saturación carril derecho, Avenida 68 Calle 23.	90
Gráfica 20. Flujo de saturación carril izquierdo, Avenida 68 Calle 23.....	90
Gráfica 21. Flujo de saturación carril derecho, Carrera 7 Calle 106.	91
Gráfica 22. Flujo de saturación carril izquierda, Carrera 7 Calle 106.....	91
Gráfica 23. Comparación de factores de equivalencia mundiales y medidos.	93
Gráfica 24. Relación del flujo de saturación con factor equivalente medido y flujo de saturación con factor equivalente HCM 2000.....	95
Gráfica 25. Volumen horario, Calle 100 con Carrera 49.....	96
Gráfica 26. Volumen horario, Calle 100 con Carrera 53.....	96
Gráfica 27. Volumen horario, Calle 100 con Avenida Suba.....	97

Gráfica 28. Volumen horario, Avenida 68 con Calle 98.....	97
Gráfica 29. Volumen horario Avenida 68 con Calle 23.....	98
Gráfica 30. Volumen horario, Carrera 7 con Calle 106.....	98
Gráfica 31. Volúmenes totales (2 Carriles).....	100
Gráfica 32. Flujos de saturación por carril (2 Carriles).	100
Gráfica 33. Variación del volumen en hora de máxima demanda por acceso.	101
Gráfica 34. Flujo de saturación vs porcentaje de motocicletas por carril.	102
Gráfica 35. Flujo de saturación vs porcentaje de motos por acceso.....	102
Gráfica 36. Factor de ajuste F_m vs Porcentaje de motocicletas.	105
Gráfica 37. Relación entre flujo de saturación ajustado y el flujo de saturación medido.	108
Gráfica 38. Diferencias entre flujos de saturación medidos y teóricos por acceso.	108
Gráfica 39. Diferencias entre flujos de saturación medidos y teóricos ajustados por acceso.	109
Gráfica 40. Relación entre flujo de saturación y porcentajes de motocicletas según posición por carril.....	110
Gráfica 41. Relación entre el flujo de saturación y porcentajes de motocicletas según posición por acceso.	111
Gráfica 42. Relación entre el flujo de saturación y porcentajes de motocicletas según posición por carril.....	112
Gráfica 43. Relación entre el flujo de saturación vs porcentaje de motocicletas dentro de flujo y total de motocicletas por acceso.....	113
Gráfica 44. Grado de saturación por carril.	114
Gráfica 45. Grado de saturación por acceso.....	114
Gráfica 46. Grado de saturación vs porcentaje de motocicletas por acceso.	115
Gráfica 47. Relación oferta y demanda en carriles semaforizados.....	116
Gráfica 48. Relación oferta y demanda en accesos semaforizados.	116
Gráfica 49. Relación entre flujo de saturación ajustado y el flujo de saturación medido.	119
Gráfica 50. Porcentaje de motocicletas por carril según su posición.....	120
Gráfica 51. Flujo de saturación vs porcentaje de motos por acceso.....	120
Gráfica 52. Grado de saturación vs porcentaje de motocicletas por acceso.	121

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Codificación de movimientos vehiculares en una intersección.	29
Tabla 2. Características ideales para intersecciones semaforizadas.	30
Tabla 3. Parámetros ideales para estudios de saturación.	38
Tabla 4. Verificación en campo de parámetros, primera selección.	41
Tabla 5. Selección de accesos de estudio.	41
Tabla 6. Períodos de máxima demanda por acceso.	56
Tabla 7. Períodos seleccionados para el estudio.	56
Tabla 8. Resumen estadístico prueba piloto.	58
Tabla 9. Tamaño de muestra mínimo.	60
Tabla 10. Errores de la captura automática de datos de tránsito.	59
Tabla 11. Cronograma para la toma de información.	60
Tabla 12. Posibles observaciones en campo.	61
Tabla 13. Observaciones recopiladas en campo.	70
Tabla 14. Ciclos saturados en campo en los accesos de estudio.	73
Tabla 15. Resumen estadístico general.	78
Tabla 16. Número muestral mínimo teórico y observado por acceso.	79
Tabla 17. Accesos adicionales para estudio de factor de equivalencia.	82
Tabla 18. Factores de equivalencia utilizados en el estudio.	82
Tabla 19. Volúmenes totales discriminados.	83
Tabla 20. Resumen estadístico general.	84
Tabla 21. Número muestral mínimo teórico y observado.	85
Tabla 22. Flujos de saturación por carril en veh./hora/carril.	92
Tabla 23. Flujos de saturación por acceso veh./hora/acceso.	92
Tabla 24. Factores de ajuste por acceso.	103
Tabla 25. Cálculo de flujos de saturación teórica.	104
Tabla 26. Cálculo de los factores según flujo base.	105
Tabla 27. Factor de ajuste por presencia de motocicletas F_m	106
Tabla 28. Cálculo del flujo de saturación ajustado por F_m	107
Tabla 29. Resultados de factor de equivalencia.	118
Tabla 30. Factor de ajuste por presencia de motocicletas F_m	119

LISTA DE FORMATOS

Formato 1. Observaciones en campo.	62
Formato 2. Motocicletas fuera del flujo.	64
Formato 3. Flujo de saturación.	68
Formato 4. Factor de equivalencia.	69

LISTA DE ANEXOS

Anexo A.	Clasificación de vehículos	[DOC]
Anexo B.	Registro de videos tomados en campo	
	– Calle 100 con Carrera 49 (mañana)	[DVD 1]
	– Calle 100 con Carrera 49 (tarde)	[DVD 1]
	– Calle 100 con Carrera 54 (mañana)	[DVD 1]
	– Calle 100 con Carrera 54 (tarde)	[DVD 2]
	– Calle 100 con Avenida Suba (mañana)	[DVD 2]
	– Calle 100 con Avenida Suba (tarde)	[DVD 2]
	– Carrera 68 con Calle 98 (mañana)	[DVD 3]
	– Carrera 68 con Calle 98 (tarde)	[DVD 3]
	– Carrera 68 con Calle 23 (mañana)	[DVD 3]
	– Carrera 68 con Calle 23 (tarde)	[DVD 4]
	– Carrera 7 con Calle 106 (mañana)	[DVD 4]
	– Carrera 7 con Calle 106 (tarde)	[DVD 4]
Anexo C.	Datos de factor de equivalencia mediante la captura automática de datos	[DVD 5]
Anexo D.	Datos de flujo de saturación mediante la captura automática de datos y observaciones tomadas en campo	[DVD 5]
Anexo E.	Datos de motocicletas fuera del flujo tomados en campo	[DVD 5]

GLOSARIO

BRECHA: tiempo entre el paso del bumper trasero de un vehículo por un punto de referencia y el paso del extremo delantero del siguiente vehículo por el mismo punto de referencia. Expresado en segundos.

CALZADA: conjunto de carriles que se dirigen en un mismo sentido sobre una misma vía.

CAPACIDAD: tasa de flujo máxima que puede pasar por una intersección.

CARRIL: parte de la calzada, destinada al paso de una sola fila de vehículos en un sentido.

COLA: fila de vehículos detenidos detrás de la línea de pare.

INTERSECCIÓN: punto de cruce entre vías con diferentes movimientos que buscan dar paso ordenado a los vehículos mediante semáforos.

INTERVALO: tiempo de paso entre un vehículo y el que lo precede sobre una vía. Expresado en segundos.

LÍNEA DE PARE: línea de marcación que indica que los vehículos deben detenerse.

PRUEBA PILOTO: este trabajo hace referencia a “prueba piloto”, al estudio que comprueba criterios previos a la toma de información definitiva.

SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL: método de captura automática de datos de tráfico, mediante video.

TIEMPO DE VERDE: es el tiempo que el semáforo tiene previsto para dar paso a los vehículos, se expresa en segundos.

TIEMPO DE CICLO: tiempo total que el semáforo tiene para hacer una secuencia, es decir es la suma del tiempo de verde y el tiempo de rojo.

INTRODUCCIÓN.

Las continuas e interminables congestiones del día a día, que se presentan en las vías urbanas de nuestro país, se están convirtiendo en un problema constante. El tráfico que se acumula en los accesos semaforizados de las principales ciudades del país, ocasionan continuas demoras. Este tema ha sido estudiado por diferentes investigaciones en los últimos años y aunque han aportado resultados importantes a la solución del conflicto, también cabe recordar que este persiste.

En nuestro país se han adelantado trabajos que suponen el comportamiento de los vehículos en el flujo diario, concernientes a la influencia de parámetros en el flujo de saturación a partir de factores de ajuste como ancho de calzada, estado del pavimento, presencia de buses entre otros con el fin de determinar la afectación de cada uno en la problemática actual.

Este proyecto propone algo innovador respecto a otros estudios, al incluir como elemento primordial a las motocicletas. Por ello, el estudio que se presentará a continuación, tiene como objetivo estudiar la influencia en la capacidad vial por las motocicletas dentro del flujo constante, que se presenta en los accesos semaforizados de las calles bogotanas, al interactuar con vehículos de otros tipos.

La capacidad vial depende del flujo de saturación, el cual indica el número máximo de vehículos que pueden pasar por un acceso durante el tiempo de verde y cuyo cálculo se puede realizar por diferentes metodologías. Para alcanzar estos resultados es preciso utilizar la metodología del Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C., que considera la presencia de factores que afectan el flujo ideal de vehículos y el Método de Webster & Cobbe para la medición de flujo de saturación, que consiste en el conteo de vehículos clasificados por tipo, en intervalos cada 6 segundos.

Para la selección de accesos se realizaron filtros teniendo en cuenta los factores que inciden en las características ideales de un acceso, dado por el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C. Se desarrollará a partir de las 1233 intersecciones existentes hasta enero del 2013, en la red semafórica de Bogotá D.C., organizadas en tres (3) centros de control de tránsito: Central Chicó, central Paloquemao y central Muzú. De esta manera se asegurarán accesos semaforizados con características similares y con una afectación de parámetros mínima, para obtener resultados representativos.

Este trabajo se desarrolló en ocho (8) capítulos:

En el capítulo de introducción, se presenta la revisión bibliográfica en libros, artículos internacionales y nacionales, bases de datos y otras fuentes de alcances similares, cuyos objetivos resultaron relevantes por sus resultados; y se plantean los objetivos generales y específicos del proyecto.

En el primer capítulo, se exponen los conceptos técnicos de la investigación y las metodologías empleadas durante el desarrollo de del proyecto.

En el segundo capítulo, se presenta la metodología para el desarrollo del estudio y los criterios de selección de los accesos semaforizados.

En el tercer capítulo, se presenta la toma de información primaria que describe los estudios como la prueba piloto y las capacitaciones realizadas al personal a cargo de los aforos.

En el cuarto capítulo, se consigna la información recopilada en campo.

En el quinto capítulo, se presentan los resultados obtenidos a partir de los estudios base, necesarios para el análisis como: gráficas, tablas y datos recolectados.

En el sexto capítulo, se presenta el análisis de los resultados mostrados en el capítulo anterior. Constituye los exámenes minuciosos de los resultados.

En el séptimo capítulo, se obtienen las conclusiones a partir de los resultados y el anterior análisis.

En el octavo capítulo, se sugieren las recomendaciones para posteriores estudios, con metodologías y equipo de alcances similares. También se plantean medidas preventivas para el conflicto de tráfico en cuanto a los resultados obtenidos.

También se busca proporcionar recomendaciones y medidas de intervención generales para la zona de estudio e intervenciones parciales y totales, para el mejoramiento a nivel de movilidad, con el propósito de prestar un mejor servicio a la ciudadanía.

ANTECEDENTES

Conforme evoluciona el transporte a nivel nacional e internacional, según Minh y Sano¹, la motocicleta se ha convertido en uno de los modos de transporte más importantes en los países en desarrollo, representando un gran porcentaje del flujo vehicular.

En Colombia, según la plataforma del Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT)², la cantidad de motocicletas registradas en su sistema es de 2'938.599 a diciembre de 2011; con una distribución del parque automotor de pasajeros de 48%, de esta última cifra, Bogotá D.C., es la ciudad con mayor cantidad de motocicletas (218.323), seguida por Envigado (194.346), Cali (100.360), Girón (84.754) y Floridablanca (69.640). Para el parque automotor colombiano se tiene proyectado que a partir del año 2015, el número de motocicletas será mayor al número de automóviles, generando un aumento en el flujo vehicular. Acevedo, et al.,³ aseguran que para el año 2040, se tiene previsto que por cada cinco habitantes haya una motocicleta, esto bajo parámetros de crecimiento poblacional y económico.

A nivel mundial, se encuentran estudios de relevancia que se adelantan principalmente en países de Sudeste Asiático, como:

“Efectos de la motocicleta en la capacidad de intersecciones semaforizadas”⁴. En este estudio se analizaron y compararon resultados de regresiones y mediciones en campo, en dos de las capitales con más alta demanda de motocicletas: Hanoi, en Vietnam y Bangkok, en Tailandia. Estas ciudades cuentan con intersecciones de estudio en las principales vías de cada ciudad. Esta investigación tenía como propósito analizar el efecto de las motocicletas tanto en la puesta en marcha de los vehículos en el instante de cambio a verde, como la tasa de flujo de saturación. Como resultados del estudio, se obtuvo una fuerte influencia dada por el posicionamiento de las motocicletas dentro de la corriente vehicular y el número

¹ MINH, Chu Cong y SANO, Kazushi. Analysis of motorcycle effects to saturation flow rate at signalized intersection in developing countries. [online]: Journal of the Eastern Asia society for transportation studies, 2003 [citado 14 mar., 2012]. vol. 5. 1 p.

² MINISTERIO DE TRANSPORTE DE COLOMBIA. Diagnóstico del transporte en Colombia. Bogotá D.C. (2011). p. 43-44.

³ ACEVEDO, Jorge, et al. El transporte como soporte al desarrollo de Colombia. Una visión al 2040. Bogotá D.C: Universidad de los Andes, 2009. p.156-158.

⁴ NAKATSUJI, Takashi y ., et al. Effects of motorcycle on capacity of signalized intersections. [online]: Journal of infrastructure planning review, 2001. 1 p.

de filas que se disponen al lado de los vehículos sobre la tasa de flujo de saturación.

Además, se realizó un análisis de los efectos de la motocicleta en el flujo de saturación, dónde se hizo un análisis del efecto sobre la tasa de saturación y el efecto sobre el automóvil como complemento de la investigación de Nakatsuji que se realizó con anterioridad.

También se estudiaron dos de las capitales con más alta demanda de motocicletas; Hanoi, en Vietnam y Bangkok, en Tailandia, las intersecciones fueron seleccionadas a partir volúmenes altos tanto para vehículos particulares, como para motocicletas. Se construyeron modelos de regresión lineal y no lineal para ajustar la influencia de estos factores. Los resultados obtenidos por Minh y Sano⁵, indicaron que la motocicleta afecta fuertemente al flujo del tráfico, especialmente cuando la proporción de motocicletas es alta y debe tenerse en cuenta en el diseño geométrico y operación de intersecciones señalizadas.

Además, se determinó el efecto de motocicletas en la tasa de flujo de saturación en intersecciones señalizadas en Malasia, utilizando un factor de equivalencia para motocicletas de 0.22. Para este estudio se eligió Malasia por ser un país con alta proporción de motocicletas. Las motocicletas dentro del acceso se dividen en motocicletas dentro del flujo (motocicletas delante de o detrás de otros vehículos); y motocicletas fuera de la corriente (motocicletas al lado de otros vehículos). Se hicieron regresiones que tenían como propósito obtener la relación entre el efecto de la posición de las motocicletas con el flujo de saturación, obteniendo como resultado la baja afectación de las motocicletas fuera del flujo, en consecuencia Lee Vien y Leong⁶, recomiendan para estudios posteriores utilizar las motocicletas dentro del flujo en lugar del total de motocicletas para estimaciones de tasas de flujo de saturación.

Otros estudios e investigaciones realizadas a nivel nacional asociadas a flujo de saturación en intersecciones semaforizadas, determinan la influencia de otros factores de ajuste frente al flujo de saturación, bajo una metodología similar como:

La estimación de la afectación de la capacidad en intersecciones semaforizadas como consecuencia del estado del pavimento, realizado para un grupo de accesos seleccionados por su homogeneidad en parámetros físicos de tránsito y

⁵ MINH, Chu Cong y SANO, Kazushi,. Op. cit., p. 14

⁶ LEONG, Lee Vien, WAN, Hashim y AHMAD, Farhan. Effect of motorcycles travel behaviour on saturation flow rates at signalized intersections in Malaysia.[online]: Journal adelaide convention centre (Australia),2008. 10 p.

operaciones, utilizando la metodología para flujo de saturación del Highway Capacity Manual (HCM). Los resultados arrojados por el estudio dieron validez a la premisa inicial, llegando a la conclusión de que si existe afectación en la capacidad por el estado del pavimento, según Sánchez⁷.

Otro estudio relevante en Colombia, es uno realizado según el Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte, del año 1998: “se realizó el estudio de calibración por el factor de ajuste de obstrucción de buses para el caso de Bogotá D.C., dónde se encontró un tiempo de maniobra de 15,93 segundos superior al actual en 3,41 segundos”⁸.

También se realizó un estudio de Duque y Robledo⁹, con el objetivo de analizar la influencia que tienen las paradas del transporte público colectivo en las intersecciones semaforizadas del centro de Bogotá, mediante la calibración y verificación de la validez de la fórmula del factor ajuste por obstrucción de buses. En estas intersecciones se tomaron datos de: demoras de buses para la calibración del parámetro, flujo de saturación por medio del método de Webster y Cobbe y los demás factores de ajuste del flujo de saturación según el HCM 2000. Y como resultado de la calibración de la ecuación, se obtuvo el factor de buses de 9,96 como constante.

Por otra parte el método del flujo de saturación de HCM¹⁰, realiza un ajuste al flujo de saturación mediante la aplicación de factores de ajuste, estos permiten representar las condiciones reales en las vías. Sin embargo en estos factores no se tiene en cuenta el efecto de las motocicletas, debido al poco uso que se les da en Estados Unidos. Este efecto según Nakatsuji., et al¹¹, sólo se ha tenido en cuenta como un factor de equivalencia que varía según la composición vehicular, dando una afectación a los flujos vehiculares representándolos en la capacidad de intersecciones semaforizadas.

⁷ SÁNCHEZ, Jorge. Estimación de la afectación de la capacidad en intersecciones semaforizadas como consecuencia del estado del pavimento. Tesis de Magister en Transporte. Bogotá D.C.: Univesidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería, 2011. 4 p.

⁸ CAL Y MAYOR, Rafael, et al. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. Volúmenes de tránsito direccionales. 8 ed. Bogotá D.C., 1998-2005, vol. 3 8-3 p.

⁹ DUQUE, David y ROBLEDOS, Juan. Análisis de la influencia que tienen las paradas del transporte público sobre el flujo de saturación en el centro de Bogotá. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, 2009. 12. p.

¹⁰ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Highway Capacity Manual. Signalized Intersections. 4 ed. Washington: National research council, 2000.

¹¹ NAKATSUJI, Takashi., et al., Op. cit., 2 p.

JUSTIFICACIÓN

Según el análisis de BBVA Research (Banco Bilbao Vizcaya Argentina), en Colombia “El parque automotor ha aumentado a 3,7 millones de automóviles y 6,8 millones, si se incluyen motocicletas, lo cual implica un promedio de 80 unidades por cada mil habitantes ó 148 si se incluyen las motocicletas”, qué durante los últimos años los habitantes han podido adquirir por las facilidades que se ofrecen y los bajos precios del mercado. Por consiguiente es lógico pensar que las demoras en los viajes y las congestiones aumenten, y que además las cifras lo demuestren, pues según las estadísticas de la Veeduría Distrital a 2012, los bogotanos se demoran en promedio 59.5 minutos para llegar a su destino, cuando en el 2009 el tiempo era de 53 minutos.

De manera que se considera necesario realizar una estimación sobre la influencia de las motocicletas en el flujo de saturación y el ajuste de los factores de equivalencia en la capacidad vial de accesos semaforizados, pues sólo se han realizado estudios en Colombia respecto a factores de ajuste relacionados con el ancho del carril, presencia de buses y el estado del pavimento y no sobre el impacto de la motocicleta en el flujo de saturación, relacionado con el incremento evidente de este modo de transporte y la falta de metodologías para estimar los factores de equivalencia, que inciden de manera significativa en los estudios de capacidad, para la evaluación y diseño de las intersecciones semaforizadas.

De esta manera, el objetivo general planteado para este estudio, será determinar la influencia de las motocicletas en el flujo de saturación en accesos semaforizados, y para esto; se estimará el factor de equivalencia de autos, buses, camiones y motocicletas en la ciudad de Bogotá D.C.; se determinará el flujo de saturación, con diferentes porcentajes de motocicletas en accesos semaforizados; se utilizará como medio la captura automática de datos de tráfico mediante video; y por último se calculará el efecto de las motocicletas, en la capacidad vial de intersecciones semaforizadas.

1. MARCO TEÓRICO

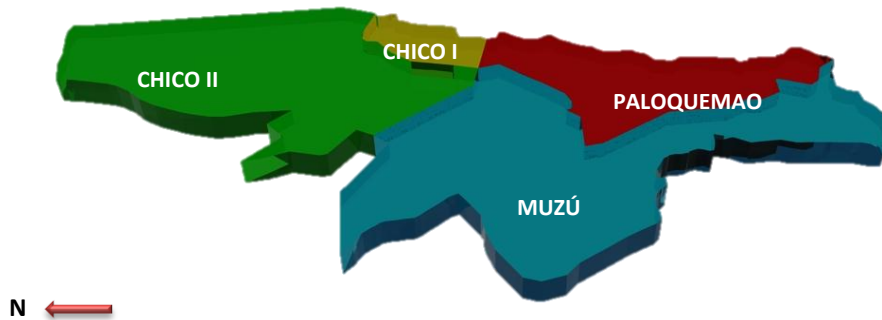
Para desarrollar de manera correcta el estudio, es necesario conocer los conceptos técnicos de la investigación y las metodologías seleccionadas para la evaluación de la influencia de las motocicletas en la capacidad vial de accesos semaforizados en la ciudad de Bogotá D.C.

1.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁMBITO LOCAL

La ciudad de Bogotá D.C., está controlada semafóricamente mediante una red que busca optimizar el control en todos los corredores viales mediante programas, en función del mejor comportamiento del tráfico, teniendo en cuenta la hora y día de la semana con base en aforos previos.

A enero de 2013 la red semafórica de Bogotá D.C. según la Dirección de control y Vigilancia de Bogotá D.C.¹², se encuentra conformada por 1233 intersecciones semaforizadas, cuya ubicación se encuentra organizada por centros de control semaforizados como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Centros de control semafórico de Bogotá D.C



Fuente: SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ.. Información semaforica Bogotá D.C. de los años 2009 a 2012. [CD-ROM]. Bogotá D.C., 2013.

¹² SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE BOGOTÁ D.C. Información relacionada con intersecciones semaforizadas en Bogotá D.C. Bogotá D.C., 2011.

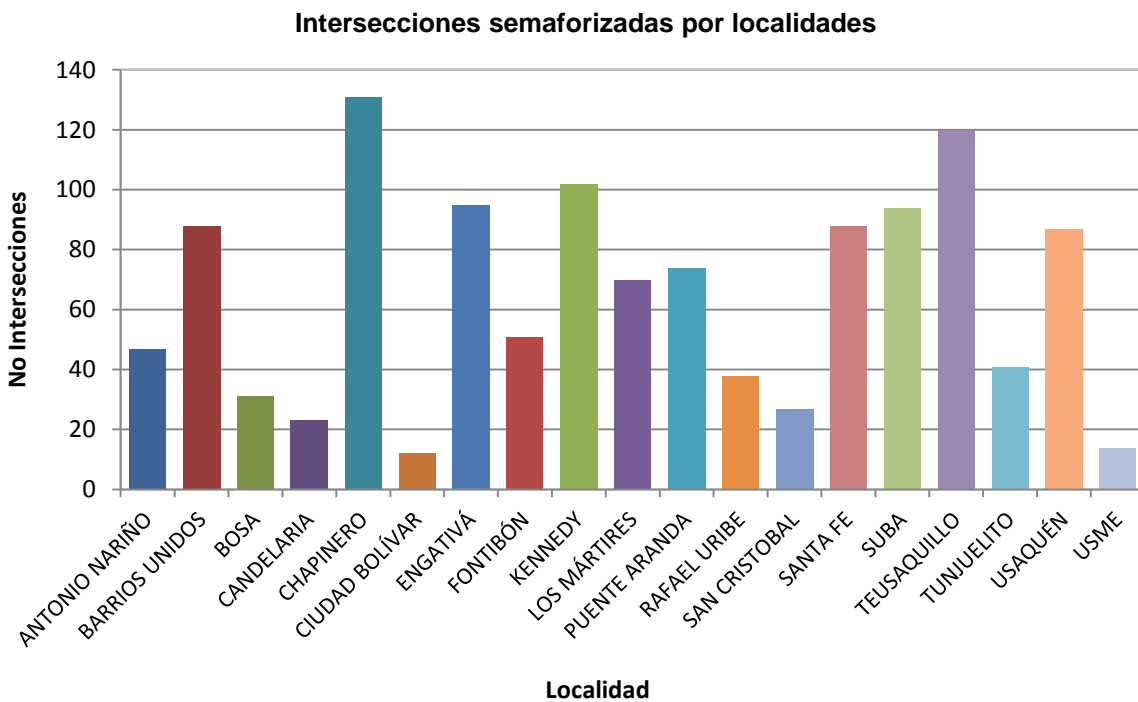
- *Central Chicó*: Controla de 339 intersecciones semaforizadas ubicadas en la central de planeamiento semaforico Chicó I y 276 localizadas en la central de planeamiento semaforico Chicó II. El área de control está delimitada de manera general, por las calles 170 y 64 y las carreras 7 y 112.

- *Central Paloquemao*: Encargada del control de 307 intersecciones semaforizadas de planeamiento semaforico. Su área de control está delimitada, de manera general por las calles 63 y 6, y por la avenida Circunvalar y la carrera 128.

- *Central Muzú*: Controla 311 intersecciones semaforizadas para la central de planeamiento semaforico. El área de control está comprendida de manera general, entre la calle 4 al sur y la carrera 6 al occidente de la ciudad.

Según las divisiones por localidad, se presenta una distribución del número de intersecciones total presentes en la ciudad de Bogotá D.C. (ver Gráfica 1.)

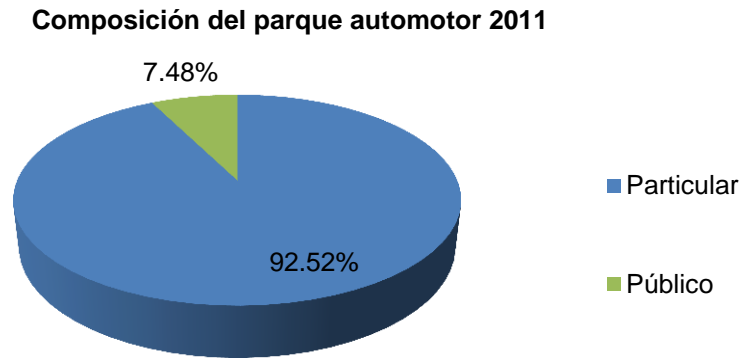
Gráfica 1. Intersecciones semaforizadas de Bogotá D.C. por localidad 2013.



Fuente: Ibíd.,

1.1.1. Composición del parque automotor. El parque automotor presente en la ciudad de Bogotá D.C., que se registró oficialmente para el año 2011, se compone de vehículos de servicio particular, público y oficial, con la siguiente proporción como lo muestra la Gráfica 2. El porcentaje más alto de vehículos registrados en la ciudad de Bogotá D.C., corresponde a los vehículos de servicio particular (92%).

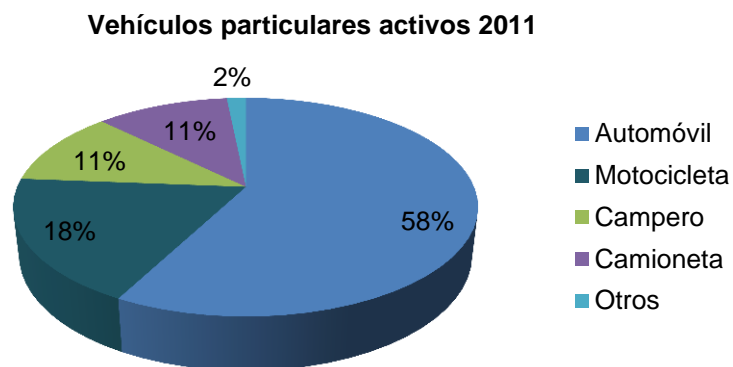
Gráfica 2. Composición del parque automotor registrado.



Fuente: REGISTRO DISTRITAL AUTOMOTOR-CONCESIÓN SERVICIOS INTEGRALES PARA LA MOVILIDAD DE BOGOTÁ. Cálculos directos de estudios sectoriales y de servicio. Bogotá D.C.(2011).

En la Gráfica 3., se muestra la clasificación de vehículos de servicio particular. Los porcentajes mas altos de vehículos particulares activos a 2011 en la ciudad de Bogotá D.C., corresponden a los automoviles con el 58% y a las motocieltas con el 18%.

Gráfica 3. Clases de los vehículos de servicio particular activos.



Fuente: Ibíd.,

1.2. CAPACIDAD EN VÍAS

La capacidad en vías es el máximo de vehículos que pueden pasar, durante un tiempo determinado y en un punto específico, bajo condiciones ideales tanto de infraestructura vial como infraestructura de tránsito, y matemáticamente se sintetiza de la siguiente forma:

$$C = S \left(\frac{g}{c} \right) \quad [1]$$

Dónde:

C = Capacidad del grupo de carriles i (vehículos/hora)

S = Tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/hora de verde)

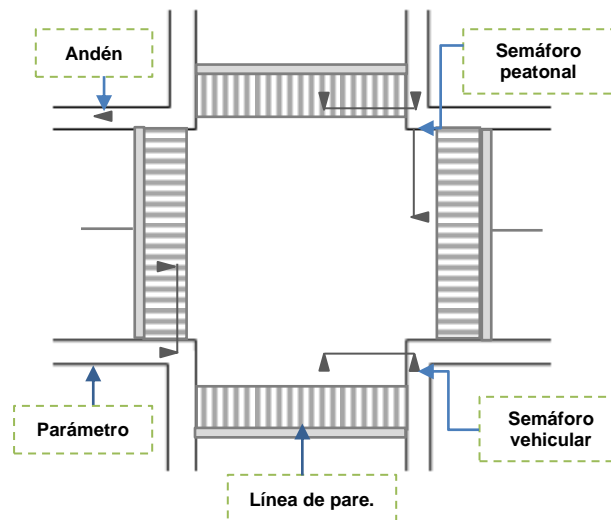
g = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles i (segundos verdes)

c = Ciclo del semáforo (segundos)

1.3. INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS.

Conjunto de semáforos dispuestos ortogonalmente, que tienen como propósito dar servicio y control del flujo vehicular. Los tiempos de cada una de las fases se programan a partir de la relación volumen/capacidad, para cada uno de los carriles de la intersección semaforizada (ver Esquema 1.)

Esquema 1. Representación de una intersección controlada por semáforo.



Fuente: Elaboración propia con base en MINISTERIO DE TRANSPORTE DE COLOMBIA. Manual de señalización: Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorutas de Colombia. Bogotá D.C. (2004). 243 p.

1.3.1. Movimientos vehiculares. Se llaman movimientos vehiculares, a las diferentes direcciones que toman los vehículos de un acceso semaforizado, para llegar a su fin y se codifican como muestra la Tabla 1.

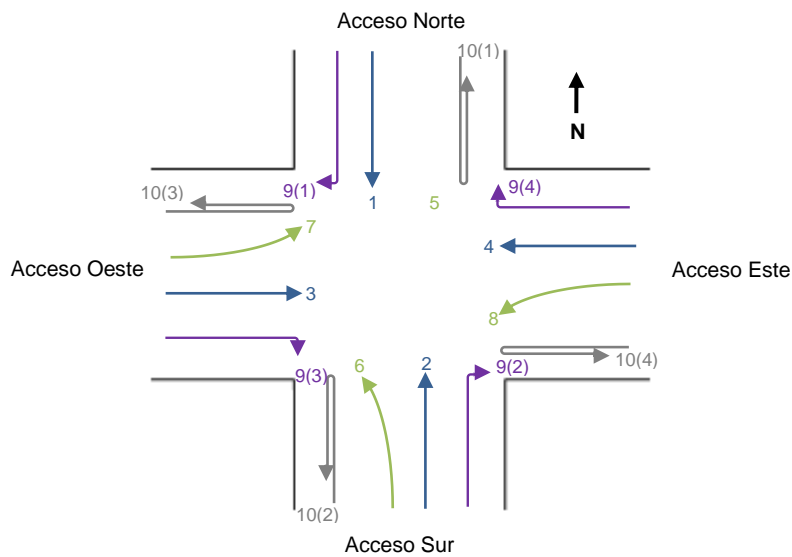
Tabla 1. Codificación de movimientos vehiculares en una intersección.

MOVIMIENTOS VEHICULARES					
Acceso	Movimiento	Grupo	Acceso	Movimiento	Grupo
Norte	Directo	1	Sur	Directo	2
	Giro a izquierda	5		Giro a izquierda	6
	Giro a derecha	9(1)		Giro a derecha	9(2)
	Giro en U	10(1)		Giro en U	10(2)
Occidental	Directo	3	Oriental	Directo	4
	Giro a izquierda	7		Giro a izquierda	8
	Giro a derecha	9(3)		Giro a derecha	9(4)
	Giro en U	10(3)		Giro en U	10(4)

Fuente: CAL Y MAYOR, Rafael, et al. Op cit., 5 p.

Y los accesos se identifican como Acceso norte, Acceso sur, Acceso occidente y Acceso oriente; como se muestra en el Esquema 2.

Esquema 2. Nomenclatura en una intersección semaforizada.



Fuente: Ibíd., 9 p.

1.3.2. Características geométricas. Las intersecciones están caracterizadas por parámetros geométricos presentes en cada una. Para que una intersección sea ideal, según el Manual de Planeación y Diseño para Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C.¹³, debe cumplir con lo que a continuación se describe en la Tabla 2.

Tabla 2. Características ideales para intersecciones semaforizadas.

CARACTERÍSTICAS IDEALES.	
1.	Condición de saturación
2.	Pendientes entre 0% y 3%
3.	Ancho de carril estándar (3,5 m - 3,6 m)
4.	Estar libres de ventas ambulantes
5.	Pavimento en buenas condiciones
6.	Movimiento directo, sin giros permitidos
7.	Deberá estar libre de obstáculos visuales (árboles o postes).

Fuente: Elaboracion propia

1.4. METODOLOGÍAS UTILIZADAS

Las metodologías empleadas para determinar la influencia por presencia de motocicletas en la capacidad vial de accesos semaforizados de la ciudad de Bogotá D.C., se presentan y explican a continuación.

1.4.1. Volúmenes vehiculares HCM. Según Cal & Mayor y Cárdenas¹⁴, los volúmenes vehiculares son conteos por tipo de vehículo que se realizan en secciones, en carril o calzada de vías para obtener proporciones de vehículos que hacen uno u otro movimiento. Estos se hacen en un intervalo de tiempo determinado y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de estimativos razonables de calidad de servicio prestado a los usuarios. Los volúmenes vehiculares se expresan en términos de porcentaje de automóviles, buses, camiones y motocicletas.

¹³ CAL Y MAYOR, Rafael, et al. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. Parámetros de tránsito, caso Bogotá, Flujo Dicontinuo. 8 ed. Bogotá D.C., 1998-2005, vol. 2.

¹⁴ CAL & MAYOR, Rafael y CARDENAS, James. Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones. 8 ed. México D.F.: Alfaomega,2010. 168 p.

1.4.2. Flujo de saturación por parámetros de afectación HCM. El flujo de saturación es la máxima tasa que puede pasar por un carril o carriles de una intersección bajo condiciones específicas, este se expresa en vehículos por tiempo y se puede determinar mediante conteos manuales o cálculos matemáticos.

Entre los múltiples métodos con los que se puede determinar el flujo de saturación de manera matemática, existe el del HCM 2000 para intersecciones semaforizadas, este consiste en una ecuación que está compuesta de una saturación base y una serie de factores que ajustan el flujo de saturación con base en características de la intersección a estudiar. En términos generales se expresa:

$$S = S_o * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LT} * f_{LU} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb} \quad [2]$$

Dónde:

- S = flujo de saturación, para el total para el grupo de carriles (veh. /h).
- S_o = flujo de saturación base por carril (veh. livianos/hora/carril).
- N = número de carriles en el grupo.
- f_w = factor de ajuste por ancho de carril.
- f_{HV} = factor de ajuste por presencia de vehículos pesados en la corriente.
- f_g = factor de ajuste por pendiente del acceso.
- f_p = factor de ajuste por estacionamiento adyacente y actividades de parqueo.
- f_{bb} = factor de ajuste por bloqueo de buses.
- f_a = factor de ajuste por tipo de área.
- f_{LU} = factor de ajuste por utilización de carril.
- f_{LT} = factor de ajuste por grupos de movimientos izquierdos.
- f_{RT} = factor de ajuste por maniobras de giros a la derecha en el grupo de carriles.
- f_{Lpb} = factor de ajuste por maniobras de giros a la izquierda.
- f_{Rpb} = factor de ajuste por obstrucción de peatones o bicicletas en el giro derecho.

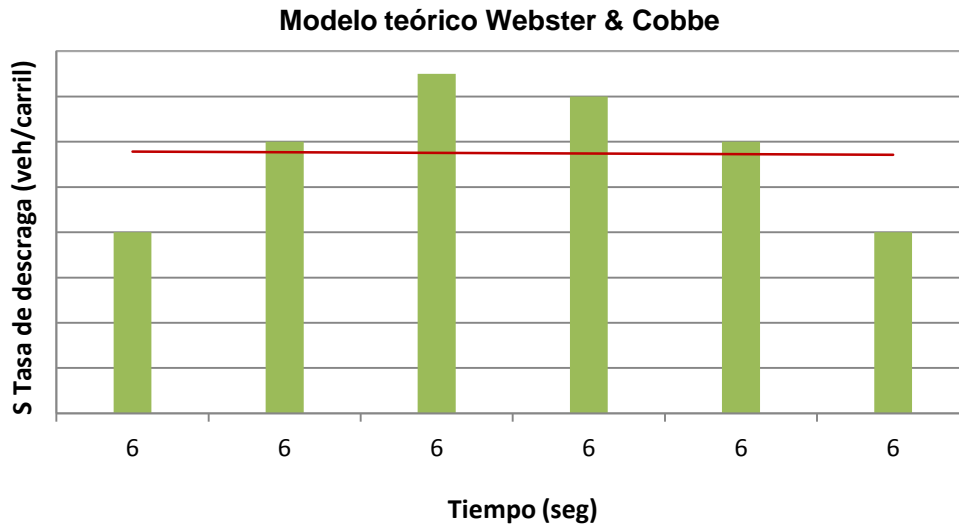
La saturación base para Bogotá D.C., es de 1946 veh./hora/carril, según el Manual de Planeación y Diseño para Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C.¹⁵

1.4.3. Método de Webster & Cobbe. La metodología utilizada es la de Webster & Cobbe para determinar el flujo de saturación. Este procedimiento consiste en contar los vehículos que pasan la línea de referencia, por intervalos de seis (6)

¹⁵ CAL Y MAYOR, Rafael, et al. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. Op.cit.

segundos durante todo el período de verde. La esquematización de estos conteos, y el procedimiento de la metodología se muestran en la Gráfica 4.

Gráfica 4. Modelo teórico de flujo de saturación método de Webster y Cobbe



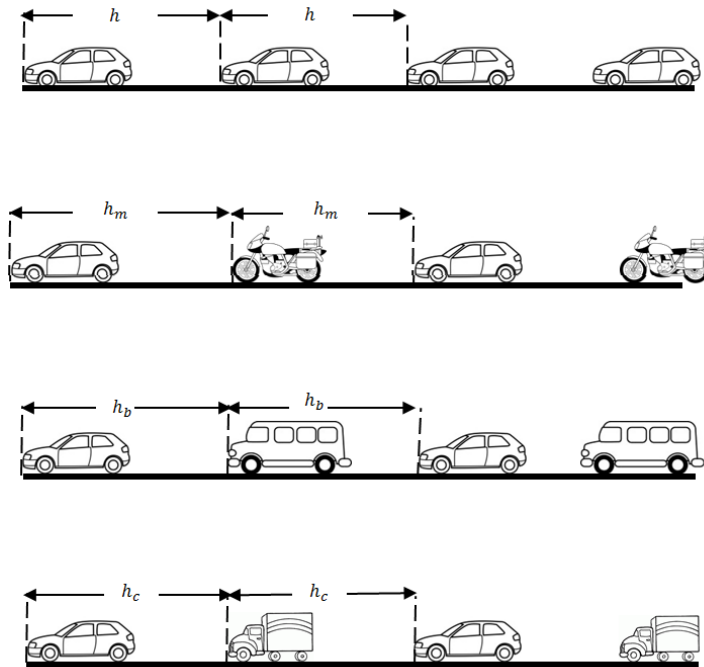
Fuente: Elaboracion propia con base en TURNER, Jeff y HARAHAHAP, Ghandi. Simplified saturation flow data collection methods. En: Transport Research Laboratory, United Kingdom, 1993. Bandung, Indonesia, 12 p.

La metodología original se refiere a conteos generales, sin clasificar los vehículos por su tipo, pero una modificación hecha por el Transport Research Laboratory (TRL) del Reino Unido; “Simplified saturation flow data collection methods”, expone: “El observador puede dictar la clasificación del vehículo a medida que pasan, para tener en cuenta la fluctuación en sistemas de flujo mixto”.¹⁶

1.4.4. Factor de equivalencia. Es el encargado de traducir todos los tipos de vehículos (autos, buses, camiones y motocicletas) en equivalente de automóviles livianos, y así de esta manera, la corriente sea homogénea como se muestra en la Figura 1.

¹⁶ *Ibid.*,

Figura 1. Representación gráfica de factor de equivalencia.



Fuente: Elaboración propia con base en NAKATSUJI, Takashi., et al. Op cit., 4 p

Este factor de conversión se utiliza para manejar datos de características similares, que permitan operarse sin ningún inconveniente. Para determinar estos factores se debe considerar una serie de estudios que permitan tener una cantidad representativa de datos de los vehículos a ajustar, teniendo en cuenta la figura anterior.

También es necesario garantizar condiciones saturadas en los ciclos utilizados, para contar al menos con 10 vehículos en cola. Se mide el intervalo de tiempo que transcurre desde el paso del eje delantero del primer vehículo al mismo eje de vehículo posterior, midiéndolo tanto para corrientes homogéneas de autos livianos entre sí como intervalos entre vehículos livianos y el resto de vehículos (buses, camiones y motocicletas), como se muestra en la Figura 1.

Según el Manual de Planeación y Diseño para Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C.,¹⁷ se sugiere analizar los intervalos a partir del cuarto

¹⁷ CAL Y MAYOR, Rafael, et al. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. Parámetros de tránsito, caso Bogotá, Flujo Dicontinuo. 8 ed. Bogotá D.C., 1998-2005, vol. 2.

vehículo de paso, ya que después de este se estabilizan los intervalos, aunque es conveniente comprobar lo anterior para cada estudio en particular.

$$\alpha_i = \frac{h}{h_i} \quad [3]$$

Dónde:

α_i = intervalo equivalente (Automóvil, bus, camión, motocicleta).

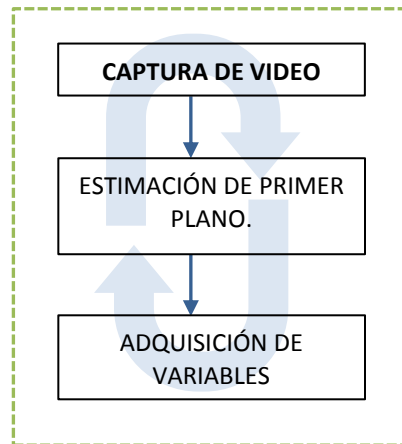
i = vehículos dependiendo su tipo.

h = intervalo entre corrientes homogéneas de autos livianos (seg).

h_i = intervalo entre automóviles y los diferentes tipos de vehículos (seg).

1.4.5. Captura automática de datos (sistema de visión artificial). El sistema de visión artificial, trabaja a partir de videos y estima intervalos, clasifica y cuenta vehículos. Este sistema artificial trabaja en tres fases principales como se consigna en el Esquema 3., la primera es la captura de videos obtenidos en campo, la segunda la estimación de primer plano que es parte del algoritmo y la tercera es la adquisición de variables de tránsito a adquirir.

Esquema 3. Fases principales del sistema de visión artificial utilizado.



Fuente: Elaboración propia con base en información de, PIMIENTO ÁLVAREZ, Mónica Alejandra.

Análisis de variables de flujo de saturación en accesos semaforizados. Proyecto de grado (Ingeniero Electrónico). Bogotá D.C. : Pontificia Universidad Javeriana. Departamento de Ingeniería Electrónica., 2013. 13 p.

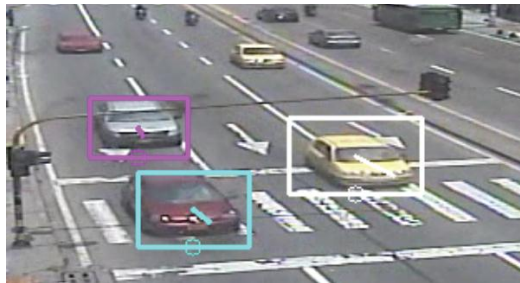
Según Pimiento¹⁸, el programa captura los datos mediante relaciones de píxeles e identificación cuadro a cuadro, asignándole un cuadro a cualquier vehículo en

¹⁸ Ibíd., 11 p.

movimiento. El sistema de visión artificial, se realizó con las librerías de Opencv (versión 2.4.3), las cuales poseen algoritmos que son usados para la captura de objetos, imágenes, video y/o procesamiento en tiempo real. El compilador utilizado fue XCODE 4.6 con lenguaje C++.

El algoritmo trabaja con detección de acuerdo a los cambios de color, de esta manera se detecta un objeto, asignándole un cuadro que envuelve su contorno y un punto central con coordenadas (x,y) en la parte delantera de cada vehículo, con el fin de identificar sobre que carril se encuentra el vehículo como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Visualización punto central delantero



Fuente: Ibíd., 25 p.

Teniendo en cuenta la relación de tamaño de carril con el tamaño de cada cuadro en pixeles se obtiene la relación en metros de cada pixel. Y de acuerdo a la relación de cuadros por segundo, se determina la cantidad de cuadros al identificar en una línea guía como la representada en la Figura 3.

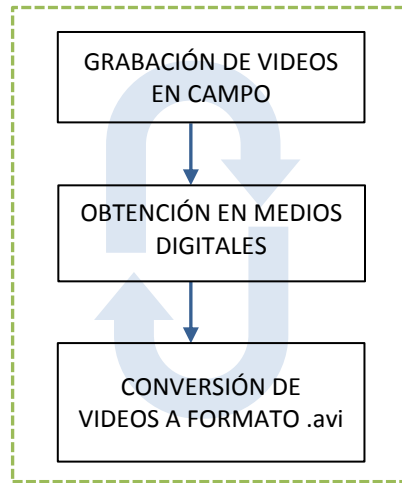
Figura 3. Identificación de línea de control para captura automática de vehículos



Fuente: Ibíd., 18 p.

Una vez grabados los videos en campo, para el posterior procesamiento, estos videos deben estar en formato .avi como indica el Esquema 4. El usuario debe ingresar algunas variables principales como 2 puntos que delimitan la vía e indican la línea de control como anteriormente se había mencionado, y adicional a esto se introduce el número de carriles de la vía de estudio.

Esquema 4. Adquisición de videos.



Fuente: Elaboración propia con base en *Ibíd.*, 20 p.

Una vez convertidos estos videos, el programa muestra en pantalla el conteo de vehículos, en intervalos cada 6 segundos, por carril discriminando por tipo de vehículo (automóviles, buses, camiones y motocicletas).

2. METODOLOGÍA

Para el estudio de influencia por la presencia de motocicletas en la capacidad vial en accesos semaforizados, se eligieron accesos semaforizados que cumplieran con condiciones ideales para estudios de saturación y para ello; se conformó una base de datos, comprobando que la información fuera verídica y por último se seleccionaron los accesos finales.

2.1. SELECCIÓN DE ACCESOS SEMAFORIZADOS

Para seleccionar los accesos definitivos del estudio, se conformó una base de datos, a partir de la información suministrada por la Secretaría Distrital de Movilidad de la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en el la Dirección de Control y Vigilancia de la sede de Paloquemao. Estos datos pertenecen a todas las intersecciones de la ciudad de Bogotá D.C., de los años 2009, 2011 y 2012.

2.1.1. Conformación de la base de datos. Para la elaboración de la base de datos, fue necesario reunir toda la información de las intersecciones semaforizadas disponible en los archivos proporcionados por la Secretaría Distrital de Movilidad de la ciudad de Bogotá D.C.

Esta información es el resultado de aforos realizados por la Dirección de Control y Vigilancia; contiene archivos de Microsoft Excel correspondientes a las intersecciones de la ciudad de Bogotá D.C. Estos archivos se clasifican por: el número externo que consta de cuatro (4) dígitos, la dirección exacta de la intersección y tipo de estudio; como se muestra en el Esquema 5.

Esquema 5. Visualización de archivos suministrados por control y vigilancia.



Nomenclatura de archivo

Fuente: Elaboración Propia

A partir de la información suministrada, se diseñó e implementó un algoritmo en Visual Basic Applications (VBA), con el propósito de consolidar toda la información en una sola base de datos. Dicho procedimiento, consiste en la extracción del nombre del archivo de Microsoft Excel, volúmenes vehiculares discriminados por tipo de vehículo y grupo; adicionalmente se incluyó en la misma, las características geométricas de cada acceso semafórico presente en la ciudad de Bogotá D.C., dando prevalencia a la información más actual.

2.1.2. Filtros por parámetros de afectación del flujo de saturación. Una vez agrupados los datos de todos los accesos semaforizados en la base de datos, se realizaron filtros, con el propósito de seleccionar accesos con parámetros ideales para estudios de saturación, sugeridos por el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte (ver Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros ideales para estudios de saturación.

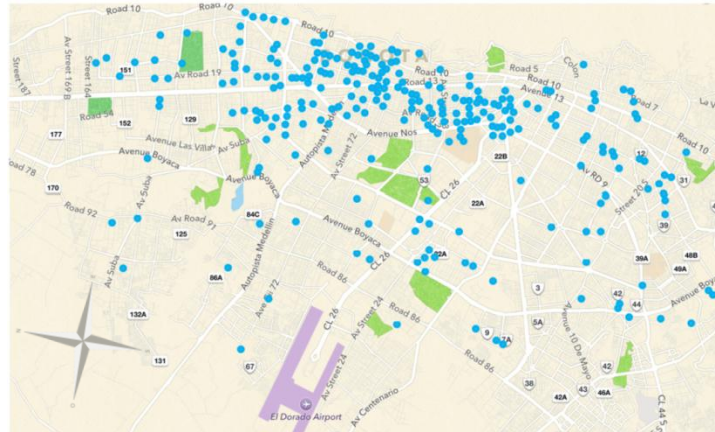
PARÁMETROS IDEALES	
Ancho de carril (m)	3.5 m – 3.6 m
Carril de estacionamiento	Sin estacionamiento
Giro derecho	0%
Giro izquierdo	0%
Presencia de buses	0%
Presencia de camiones	0%

Fuente: Elaboración propia con base en CAL Y MAYOR, Rafael, et al. Op.cit., p.

Filtro por presencia de vehículos pesados. Según el Manual de Planeación y Diseño para la Administración de Tránsito y Transporte, el máximo porcentaje admisible que presenta menor factor de ajuste por presencia de vehículos pesados para estudios de flujo de saturación, es del dos por ciento (2%).

De esta manera, se realizó el primer filtro para este parámetro y se obtuvo 265 intersecciones semaforizadas con estas características, las cuales se observan en la Figura 4.

Figura 4. Intersecciones semaforizadas por presencia de vehículos pesados.



- Intersecciones con presencia de buses y camiones menores al 2%

Fuente: Elaboración propia sobre información base en Google Earth.

Filtro por presencia de giro derecho y giro izquierdo. El segundo filtro se realizó a partir de los giros permitidos tanto derechos como izquierdos en un acceso semaforizado, ya que se deben evitar según el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte para estudios de saturación. Este filtro junto con el anterior, registra un total de 45 intersecciones semaforizadas con estas características (ver Figura 5).

Figura 5. Intersecciones semaforizadas sin giros derechos e izquierdos.



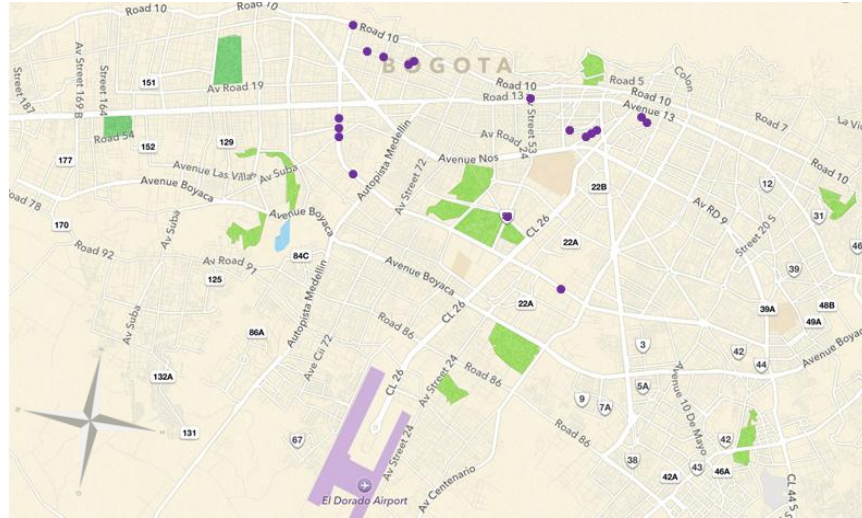
- Intersecciones sin giros derecho e izquierdo y con presencia de buses y camiones menores al 2%.

Fuente: Elaboración propia sobre información base en Google Earth

Filtro por ancho de carril. El tercer filtro realizado, es el ancho de carril, este parámetro, se define entre 3.5 m a 3.6 m, según el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte para estudios de saturación.

Este filtro junto con los dos anteriores, arrojó un total de 14 intersecciones semaforizadas con estas características (ver Figura 6).

Figura 6. Intersecciones semaforizadas filtradas sin giros.



- Intersecciones con ancho de carril de 3.5 m – 3.6 m, sin giros derecho e izquierdo y con presencia de buses y camiones menores al 2%.

Fuente: Elaboración propia sobre información base en Google Earth.

2.1.3 Verificación en campo de los parámetros de accesos preseleccionados. A partir de los filtros previos, se verificaron en campo los parámetros de los accesos semaforizados preseleccionados, con el fin de ratificar su selección definitiva en el presente estudio. A continuación en la Tabla 4., se muestran los datos recolectados en campo, para cada una de las intersecciones preseleccionadas.

Tabla 4. Verificación en campo de parámetros, primera selección.

VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS					
Localización	Ancho de Carril	Pendiente	Estacionamiento Lateral	Giro Derecho	Giro Izquierdo
Calle 100 x Carrera 49	3,60	0,87%	No	No	No
Calle 100 x Carrera 53	3,60	0,87%	No	No	No
Calle 100 x Avenida Suba	3,50	2,62%	No	No	No
Avenida 68 x Calle 94	3,50	0,20%	No	No	No
Avenida 68 x Calle 23	3,60	0,30%	No	No	No
Carrera 7 x Calle 106	3,55	0,20%	No	No	No
Calle 85 x Carrera 11	3,60	1,05%	Si	No	No
Calle 94 x Carrera 11	3,60	5,0%	No	No	No
Calle 92 x Carrera 11	4,25	5,0%	No	No	No
Carrera 53 x Calle 13	3,50	4,0%	Si	No	No

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la Tabla 4., de verificación de parámetros pre-seleccionados, se evaluaron y seleccionaron los accesos definitivos, a partir del cumplimiento total de todos los factores de afectación para estudios de saturación y se eligieron seis (6) accesos semaforizados como se muestra en la Tabla 5.

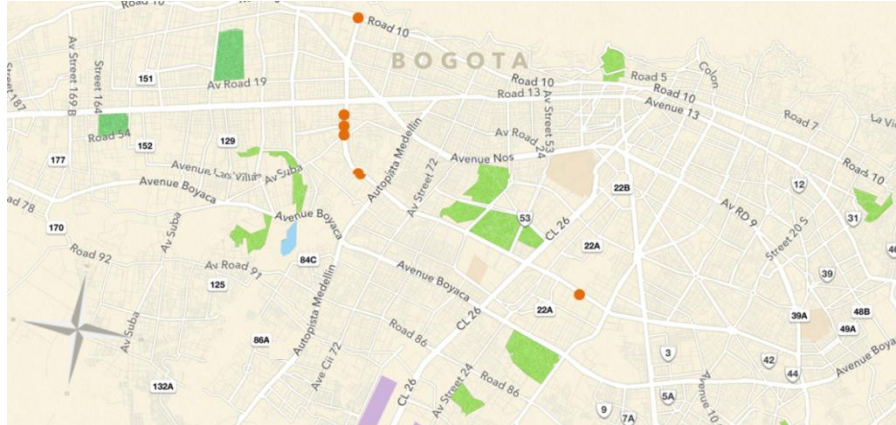
Tabla 5. Selección de accesos de estudio.

ACCESOS SELECCIONADOS				
Dirección	Localidad	No Externo	Acceso	Grupo
Calle 100 x Carrera 49	Suba	1344	Occidente	3
Calle 100 x Carrera 53	Suba	1345	Oriente	4
Calle 100 x Carrera 60	Suba	1202	Occidente	3
Carrera 68 x Calle 98	Suba	1347	Sur	2
Carrera 68 x Calle 23	Puente Aranda	2402	Norte	1
Carrera 7 x Calle 106	Usaquén	1259	Norte	1

Fuente: Elaboración propia.

Estos accesos están ubicados espacialmente en la ciudad de Bogotá D.C., como lo muestra la Figura 7.

Figura 7. Intersecciones semaforizadas seleccionadas.

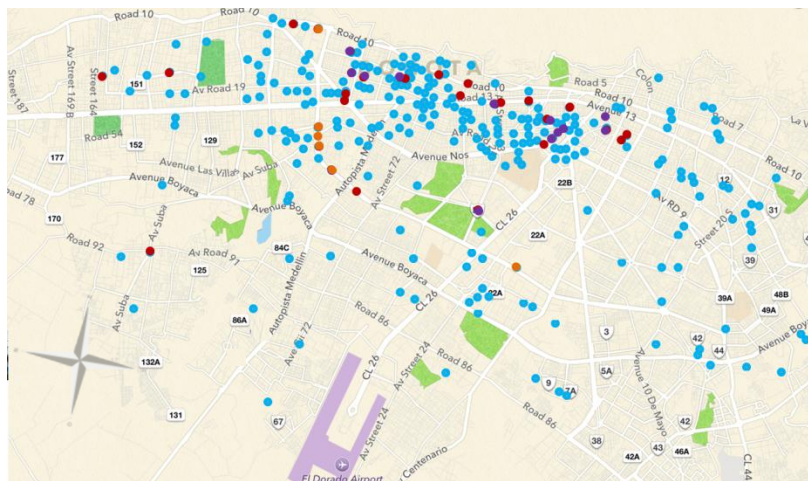


- Intersecciones semaforizadas seleccionadas para el estudio.

Fuente: Elaboración propia sobre información base en Google Earth.

A partir de los filtros anteriores, se estableció una superposición de criterios como se muestra en la Figura 8., mostrando de manera general los criterios ideales que se tomaron en cuenta para la selección de los accesos semaforizados del presente estudio.

Figura 8. Superposición de criterios.



- Intersecciones con presencia de buses y camiones menores al 2%
- Intersecciones sin giros derecho e izquierdo y con presencia de buses y camiones menores al 2%.
- Intersecciones con ancho de carril de 3.5 m – 3.6 m, sin giros derecho e izquierdo y con presencia de buses y camiones menores al 2%.
- Intersecciones semaforizadas seleccionadas para el estudio.

Fuente: Elaboración propia sobre información base en Google Earth.

2.1.4. Resumen del proceso de selección de accesos semaforizados. A continuación en el Esquema 6., se sintetiza el procedimiento para la selección adecuada de los accesos semaforizados definitivos para este estudio.

Esquema 6 . Resumen del proceso de selección de accesos semaforizados.



Fuente: Elaboración propia.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ACCESOS SELECCIONADOS

A continuación se presentan los accesos semaforizados seleccionados para el estudio con su respectiva fotografía y esquema.

2.2.1. Acceso de la Calle 100 con Carrera 49.

El tramo de estudio es sobre la Calle 100 con Carrera 49, en la localidad de Suba.

No. Externo 1344

Acceso: Occidente

Grupo: 3

Estado del pavimento: Este tramo cuenta con una relativa buena capa de rodadura.

Usos del suelo: La zona de estudio cuenta con un uso del suelo residencial, aunque con actividades de industrias, comercio y servicios, sobre todo en la parte sur.

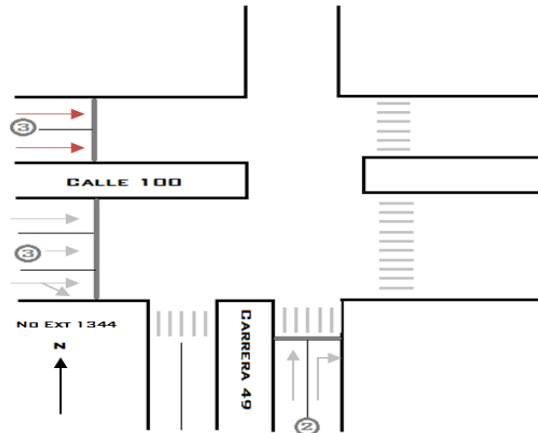
Atrayentes y generadores de viajes: En el tramo existen centros comerciales, hospitales y cuenta con un equipamiento urbano recreativo, la zona también cuenta con un alta tasa de habitabilidad, a continuación una pequeña lista de los principales atrayentes:

- Centro comercial Iserra 100.
- Clínica la 100.
- Autopista Norte.
- Hotel Cosmo 100.
- Club de Ecopetrol.
- Teatro Nacional la Castellana.
- Otros (Almacenes Olímpica 100, Carulla Pasadena)

La intersección de la avenida calle 100 con carrera 49 se encuentra ubicada en el noroccidente de la ciudad. La avenida calle 100, está conformada por cuatro calzadas, para tráfico mixto. Permite la circulación en sentido oriente-occidente y viceversa. La carrera 49, está conformada por dos calzadas dos para tráfico mixto, permite la circulación en sentido norte-sur y viceversa. El tráfico predominante corresponde a los vehículos livianos, la hora de máxima demanda en la intersección se presenta en el periodo de la mañana entre las 07:00-08:00.

Para poder determinar los estudios de tránsito para el presente estudio, es necesario ubicarnos en la intersección vial, el acceso seleccionado para el estudio es el acceso 3, que tiene sentido occidente-oriente como se puede observar en el siguiente esquema:

Esquema 7. Intersección de la Calle 100 x Carrera 49.



Fuente: Elaboración propia con información base en SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ.. Información semáforica Bogotá D.C. de los años 2009 a 2012.op.cit.,

Antes de realizar este aforo se realizó una visita previa a la zona de estudio, para poder determinar la ubicación de los aforadores según los movimientos vehiculares que se presentan en la zona, a continuación se muestra el registro fotográfico del acceso de estudio:

Figura 9. Calle 100 x Carrera 49



Fuente: Los autores.

2.2.2. Acceso de la Calle 100 con Carrera 53.

El tramo de estudio es sobre la Calle 100 con carrera 53, en la localidad de Suba.

No. Externo: 1345.

Acceso: Oriente.

Grupo: 4

Estado del pavimento: Este tramo cuenta con una relativa buena capa de rodadura.

Usos del suelo: La zona de estudio cuenta con un uso del suelo residencial, aunque con actividades de industrias, comercio y servicios, sobre todo en la parte sur.

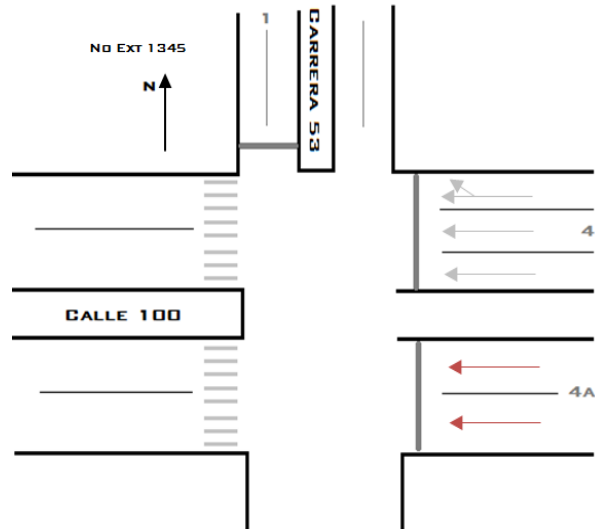
Atrayentes y generadores de viajes: En el tramo existen centros comerciales, hospitales y cuenta con un equipamiento urbano recreativo, la zona también cuenta con un alta tasa de habitabilidad, a continuación una pequeña lista de los principales atrayentes:

- Centro comercial Iserra 100.
- Olímpica Calle 100.
- Clínica la 100.
- Autopista Norte.
- Hotel Cosmo 100.
- Teatro Nacional la Castellana.

La intersección de la avenida calle 100 con carrera 53 se encuentra ubicada en el noroccidente de la ciudad. La Avenida calle 100, está conformada por cuatro calzadas, para tráfico mixto Permite la circulación en sentido oriente-occidente y viceversa. La intersección está regulada por un control semafórico. El tráfico predominante corresponde a los vehículos livianos, la hora de máxima demanda en la intersección se presenta en el periodo de la mañana entre las 16:00-17:00.

Para poder determinar los estudios de tránsito para el presente estudio, es necesario ubicarnos en la intersección vial, el acceso seleccionado para el estudio es el acceso 4, que tiene sentido oriente-occidente como se puede observar en el siguiente esquema:

Esquema 8. Intersección de la Calle 100 x Carrera 53.



Fuente: Elaboración propia con información base en SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ.íbid.,

Antes de realizar este aforo se realizó una visita previa a la zona de estudio, para poder determinar la ubicación de los aforadores, según los movimientos vehiculares que se presentan en la zona, a continuación se muestra el registro fotográfico del acceso de estudio:

Figura 10. Calle 100 x Carrera 53.



Fuente: Los autores.

2.2.3. Acceso de la Calle 100 con Carrera 60

El tramo de estudio es sobre la Calle 100 con Avenida Suba, en la localidad de Suba.

No. Externo: 1202.

Acceso: Occidente.

Grupo: 3

Estado del pavimento: Este tramo cuenta con una relativa buena capa de rodadura.

Usos del suelo: La zona de estudio cuenta con un uso del suelo residencial, aunque con actividades de industrias, comercio y servicios, sobre todo en la parte sur.

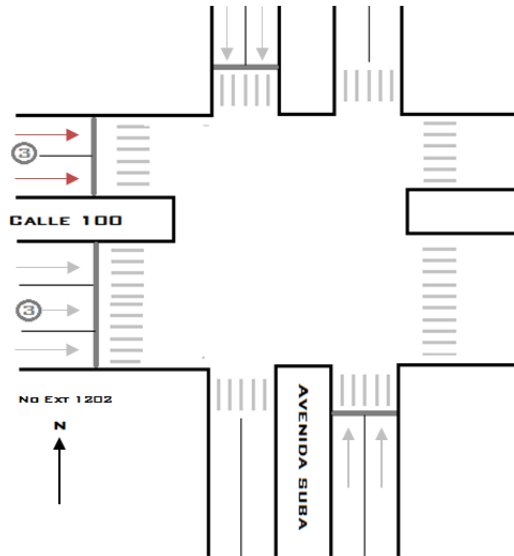
Atrayentes y generadores de viajes: En el tramo existen centros comerciales, hospitales y cuenta con un equipamiento urbano recreativo, la zona también cuenta con un alta tasa de habitabilidad, a continuación una pequeña lista de los principales atrayentes:

- Centro comercial Iserra 100.
- Centro comercial Master Center.
- Olímpica Calle 100.
- Clínica la 100.
- Salud Total Eps.
- Estación de transmilenio Suba-Calle 100.

La intersección de la avenida Calle 100 con Avenida 60 se encuentra ubicada en el noroccidente de la ciudad. La avenida calle 100, está conformada por cuatro calzadas, para tráfico mixto Permite la circulación en sentido oriente-occidente y viceversa. La intersección está regulada por un control semafórico. El tráfico predominante corresponde a los vehículos livianos, la hora de máxima demanda en la intersección se presenta en el periodo de la mañana entre las 07:00-08:00.

Para poder determinar los estudios de tránsito para el presente estudio, es necesario ubicarnos en la intersección vial, el acceso seleccionado para el estudio es el acceso 3, que tiene sentido occidente-oriente, como se puede observar en el siguiente esquema:

Esquema 9. Intersección de la Calle 100 x Carrera 60.



Fuente: Elaboración propia con información base en SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ..ibíd.,

Antes de realizar este aforo se realizó una visita previa a la zona de estudio, para poder determinar la ubicación de los aforadores, según los movimientos vehiculares que se presentan en la zona, a continuación se muestra el registro fotográfico del acceso de estudio:

Figura 11. Calle 100 x Carrera 60.



Fuente: Los autores.

2.2.4. Acceso de la Carrera 68 con Calle 98.

El tramo de estudio es sobre la Carrera 68 con Calle 98, en la localidad de Suba.

No. Externo 1347

Acceso: Sur

Grupo: 2

Estado del pavimento: Este tramo cuenta con una relativa buena capa de rodadura.

Usos del suelo: La zona de estudio cuenta con un uso del suelo residencial, aunque con actividades de industrias, comercio y servicios, sobre todo en la parte sur.

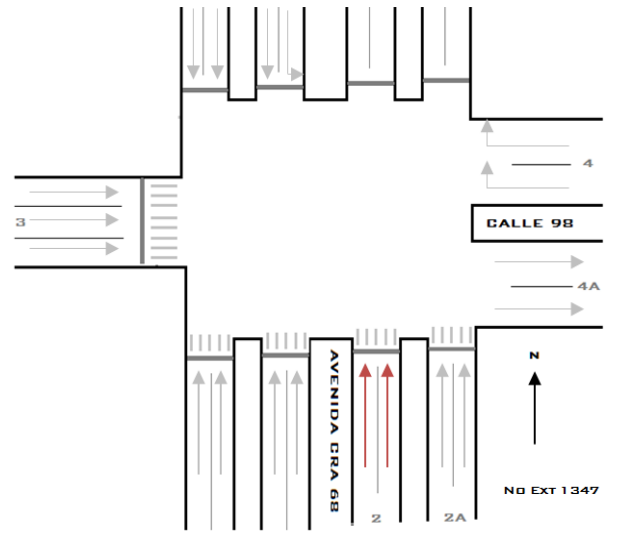
Atrayentes y generadores de viajes: En el tramo existen centros comerciales, hospitales y cuenta con un equipamiento urbano recreativo, la zona también cuenta con un alta tasa de habitabilidad, a continuación una pequeña lista de los principales atrayentes:

- Cafam Floresta.
- Automotores Camagro.
- Clínica Cafam.
- Teatro bellas artes de Bogotá.
- Fundación universitaria Cafam.
- Éxito la foresta.

La intersección de la avenida Carrera 68 calle 98 se encuentra ubicada en el noroccidente de la ciudad. La avenida calle 68, está conformada por cuatro calzadas, para tráfico mixto Permite la circulación en sentido sur-norte y viceversa. La intersección está regulada por un control semafórico. El trafico predominante corresponde a los vehículos livianos, la hora de máxima demanda en la intersección se presenta en el periodo de la mañana entre las 07:00-08:00.

Para poder determinar los estudios de tránsito para el presente estudio, es necesario ubicarnos en la intersección vial, el acceso seleccionado para el estudio es el acceso 2, que tiene sentido sur-norte, como se puede observar en el siguiente esquema:

Esquema 10. Intersección de la Carrera 68 x Calle 98



Fuente: Elaboración propia con información base en SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ.íbid.,

Antes de realizar este aforo se realizó una visita previa a la zona de estudio, para poder determinar la ubicación de los aforadores, según los movimientos vehiculares que se presentan en la zona, a continuación se muestra el registro fotográfico del acceso de estudio:

Figura 12. Carrera 68 x Calle 98



Fuente: Los autores.

2.2.5. Acceso de la Carrera 68 con Calle 23.

El tramo de estudio es sobre la Carrera 68 con Calle 23, en la localidad de Puente Aranda.

No. Externo: 2402.

Acceso: Norte.

Grupo: 1

Estado del pavimento: Este tramo cuenta con una relativa buena capa de rodadura.

Usos del suelo: La zona de estudio cuenta con un uso del suelo residencial, aunque con actividades de industrias, comercio y servicios, sobre todo en la parte sur.

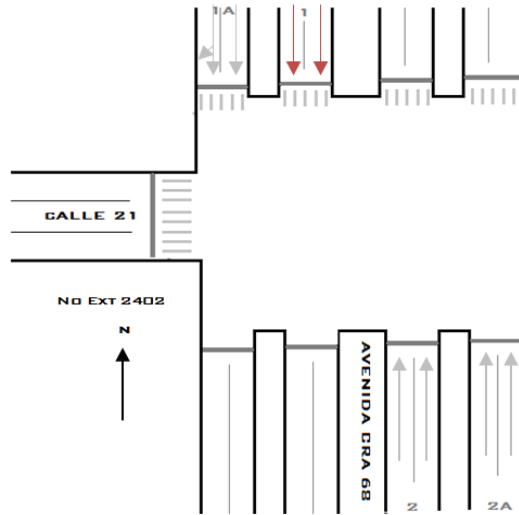
Atrayentes y generadores de viajes: En el tramo existen centros comerciales, hospitales y cuenta con un equipamiento urbano recreativo, la zona también cuenta con un alta tasa de habitabilidad, a continuación una pequeña lista de los principales atrayentes:

- Corpacero S.A.
- Colsanitas.
- Home Center Sur.
- Fundación Universitaria Sanitas.

La intersección de la Carrera 68 con calle 23 se encuentra ubicada en el norte de la ciudad. La avenida carrera 68, está conformada por cuatro calzadas para tráfico mixto .Permite la circulación en sentido norte sur y viceversa. La intersección está regulada por un control semafórico. El tráfico predominante corresponde a los vehículos livianos, la hora de máxima demanda en la intersección se presenta en el periodo de la mañana entre las 16:00-17:00.

Para poder determinar los estudios de tránsito para el presente estudio, es necesario ubicarnos en la intersección vial, el acceso seleccionado para el estudio es el acceso 1, que tiene sentido sur-norte, como se puede observar en el siguiente esquema:

Esquema 11. Intersección de la Carrera 68 x Calle 23



Fuente: Elaboración propia con información base en SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ.íbid.,

Antes de realizar este aforo se realizó una visita previa a la zona de estudio, para poder determinar la ubicación de los aforadores, según los movimientos vehiculares que se presentan en la zona, a continuación se muestra el registro fotográfico del acceso de estudio:

Figura 13. Carrera 68 x Calle 23



Fuente: Los autores.

2.2.6. Acceso de la Carrera 7 con Calle 106.

El tramo de estudio es sobre la Carrera 7 con Calle 106, en la localidad de Usaquén.

No. Externo: 1259.

Acceso: Norte.

Grupo: 1

Estado del pavimento: Este tramo cuenta con una relativa buena capa de rodadura.

Usos del suelo: La zona de estudio cuenta con un uso del suelo residencial, aunque con actividades de industrias, comercio y servicios, sobre todo en la parte sur.

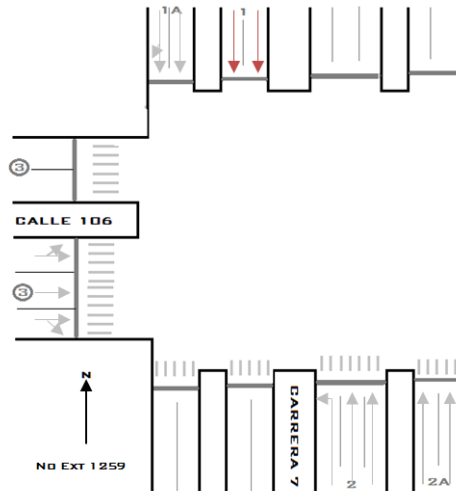
Atrayentes y generadores de viajes: En el tramo existen centros comerciales, hospitales y cuenta con un equipamiento urbano recreativo, la zona también cuenta con un alta tasa de habitabilidad, a continuación una pequeña lista de los principales atrayentes:

- Escuela de caballería.
- Canton Norte
- World Trade Center.
- Corpacero S.A.
- Olímpica Santa Ana.

La intersección de la carrera 7 con calle 106 se encuentra ubicada en el norte de la ciudad. La avenida carrera 7, está conformada por cuatro calzadas para tráfico mixto .Permite la circulación en sentido norte sur y viceversa. La intersección está regulada por un control semafórico. El trafico predominante corresponde a los vehículos livianos, la hora de máxima demanda en la intersección se presenta en el periodo de la mañana entre las 07:00-08:00.

Para poder determinar los estudios de tránsito para el presente estudio, es necesario ubicarnos en la intersección vial, el acceso seleccionado para el estudio es el acceso 1, que tiene sentido sur-norte, como se puede observar en el siguiente esquema:

Esquema 12. Intersección de la Carrera 7 x Calle 106.



Fuente: Elaboración propia con información base en SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ.íbid.,

Antes de realizar este aforo se realizó una visita previa a la zona de estudio, para poder determinar la ubicación de los aforadores según los movimientos vehiculares que se presentan en la zona, a continuación se muestra el registro fotográfico del acceso de estudio:

Figura 14. Carrera 7 x Calle 106.



Fuente: Los autores.

2.3. SELECCIÓN DE PERÍODOS PARA LA TOMA DE INFORMACIÓN EN CAMPO

A partir de la información de las intersecciones semaforizadas, suministrada por la Dirección de Control y Vigilancia, se definieron los períodos para la ejecución del estudio. En estos archivos se encontraban las horas de máxima demanda de volúmenes vehiculares para cada una de las intersecciones, por esta razón se evaluaron estos períodos para cada acceso semaforizado, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Períodos de máxima demanda por acceso.

PERÍODOS DE MÁXIMA DEMANDA POR ACCESO			
No. Externo	Localización	Período de máxima demanda Mañana	Período de máxima demanda Tarde
1202	Calle 100 x Avenida Suba	08:45 - 09:45	17:00 - 18:00
1259	Carrera 7 x Calle 106	07:15 - 08:15	16:00 - 17:00
1344	Calle 100 x Carrera 49	08:30 - 09:30	17:00 - 18:00
1345	Calle 100 x Carrera 53	07:45 - 08:45	16:30 - 17:30
1347	Avenida 68 x Calle 98	08:45 - 09:45	17:15 - 18:15
2402	Avenida 68 x Calle 23	07:00 - 08:00	17:15 - 18:15

Fuente: Elaboración propia.

Por último se eligieron períodos definitivos que reunían todas las horas pico de cada uno de los accesos semaforizados, de manera tal que todos los accesos fueran aforados durante sus tiempos de máxima demanda y presentaran condiciones de saturación. Los períodos elegidos para la toma de información se muestran en Tabla 7.

Tabla 7. Períodos seleccionados para el estudio.

PERÍODOS SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO	
PERÍODO DE LA MAÑANA	PERÍODO DE LA TARDE
07:00 - 10:00	15:00 - 18:00

Fuente: Elaboración propia.

3. PROCEDIMIENTO DE CAMPO

Este capítulo encierra principalmente dos temas importantes, el primero referente a la toma de información primaria y el segundo referente a la recolección de datos en campo; tanto manual como automática.

3.1. TOMA DE INFORMACIÓN PRIMARIA

La toma de información primaria se realizó, con el fin de obtener información previa de la zona de estudio. Este numeral comprende dos pruebas piloto y el cálculo de muestra mínima para el estudio.

3.1.1. Prueba piloto de motocicletas respecto a la línea de pare. Según estudios sobre la influencia de las motocicletas en la capacidad de intersecciones semaforizadas en el mundo (ver antecedentes), los conteos vehiculares, especialmente los de las motocicletas sobre la línea de pare, se hacen de formas diferentes.

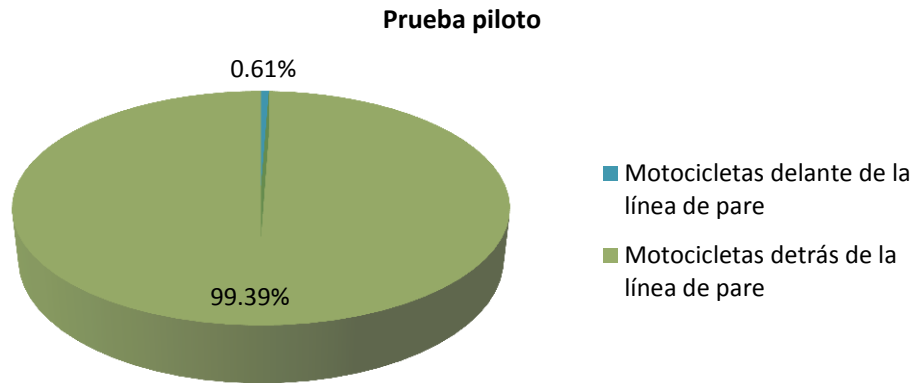
Existen algunos estudios como los de Minh¹⁹, que tienen en cuenta las motocicletas situadas sobre la línea de pare en el flujo de saturación y otros como el de Leong²⁰, que las descartan. Esto se hace según el número de motocicletas que generalmente se sitúan en este lugar y las demoras que se ocasionan en el arranque de los vehículos que las preceden. Por ello se decidió realizar una prueba preliminar al estudio de flujo de saturación, con la que se determinó el porcentaje de afectación de las motocicletas en esta posición.

Esta prueba se realizó en el acceso que registró mayor porcentaje de motocicletas, según la base de datos conformada anteriormente. El acceso seleccionado para esta prueba, está ubicado en la Calle 100 con Carrera 49 en el período de la mañana, exactamente de 7:00:00 a 10:00:00 am. Los resultados de la prueba piloto se consignan en la Gráfica 5 y el formato utilizado para esta prueba, muestra el número de motocicletas que se ubican después de la línea de pare.

¹⁹ MINH, Chu Cong y SANO, Kazushi. Op. cit., 12 p.

²⁰ LEONG, Lee Vien. Op. cit., 10 p.

Gráfica 5. Motocicletas respecto a la línea de pare (Prueba piloto).



Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos como se observa en la Gráfica 5., se decidió no tener en cuenta las motocicletas posicionadas delante de la línea de pare, para el estudio de flujo de saturación, ya que el porcentaje de 0.61%, en comparación con el 99.39%, referente a las motocicletas delante de la línea de pare contra las motocicletas posicionadas detrás de esta línea, no afectaban el flujo continuo.

Teniendo en cuenta los datos anteriores, se realizó un resumen estadístico elaborado en Microsoft Excel con la herramienta “Análisis de datos” como muestra la Tabla 8; obteniendo un promedio de 0.06 motocicletas posicionadas delante de la línea de pare, con un error típico de 0.02 motocicletas y una desviación estándar de 0.25 motocicletas; se calculó teniendo en cuenta un nivel de confianza del 95%.

Tabla 8. Resumen estadístico prueba piloto.

RESUMEN ESTADÍSTICO	
Media (motocicletas)	0.06
Error típico (motocicletas)	0.02
Desviación estándar (motocicletas)	0.25
Varianza de la muestra (motocicletas)	0.06
Suma (motocicletas)	10.00
Muestra (ciclos)	154.00
Nivel de confianza (95.0%) (motocicletas)	0.04

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Prueba piloto de software de visión artificial. Para la utilización de programa del sistema de visión artificial, se hicieron pruebas a partir de 5 videos cortos, cada uno de 10 minutos sobre accesos semaforizados de la ciudad de Bogotá D.C., de 2 y 3 carriles, con el fin de comprobar su funcionamiento y encontrar el porcentaje de error en la captura automática de datos de tránsito como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Errores de la captura automática de datos de tránsito.

ERRORES SOFTWARE VISIÓN ARTIFICIAL			
Vehículos	Manual	Automático	Total Acceso
Automóviles	155	149	3,87%
Buses	4	4	0,00%
Camiones	2	2	0,00%
Motocicletas	29	25	13,79%

Fuente: Elaboracion propia

Como se puede observar en la tabla anterior, se obtuvo un error de 3,87% para el conteo de vehículos livianos, 0% para buses, 0% para camiones y 13,79% para motocicletas. No se consideró pertinente, ajustar los valores, ya que hay diferencias sutiles en comparación con los datos manuales.

El porcentaje de motocicletas, debido a ser el más alto, fue analizado con el propósito de encontrar su causa; a partir de una nueva observación de los videos prueba, se encontró que este porcentaje estaba directamente relacionado con la captura de motocicletas fuera del flujo vehicular. No obstante, para subsanar este error se decidió hacer el conteo de estas estas motocicletas manualmente.

3.1.3. Tamaño mínimo de la muestra. Según Cal y Mayor²¹, para obtener conclusiones representativas en un estudio, es necesario tener un tamaño de muestra suficientemente representativo; por consiguiente se calculó el tamaño muestral mínimo, a partir de variables estadísticas estimadas en trabajos de grado consultados. Los datos utilizados fueron seleccionados en relación a la ubicación del corredor vial de los accesos semaforizados a estudiar, definiendo un error tolerable de ± 0.2 veh/intervalo y un nivel de confianza del 95%.

²¹ CAL Y MAYOR, Rafael, et al. op.cit., vol. 1. p.

Tabla 10. Tamaño de muestra mínimo.

TAMAÑO MUESTRAL MÍNIMO				
Localización	Desviación (veh/intervalo)	Nivel de confianza	Error tolerable (veh/intervalo)	Muestra mínima
Calle 100 x Avenida Suba	0.43	0,95	0.2	18
Carrera 7 x Calle 106	0.66	0,95	0.2	42
Calle 100 x Carrera 49	0.43	0,95	0.2	18
Calle 100 x Carrera 53	0.43	0,95	0.2	18
Avenida 68 x Calle 98	1.11	0,95	0.2	119
Avenida 68 x Calle 23	1.11	0,95	0.2	119

Fuente: Elaboración propia con base en desviaciones estándar de Duque y Moreno.

3.2. RECOLECCIÓN MANUAL DE DATOS

La recolección manual de datos se hizo necesaria ya que complementa los estudios principales realizados a partir de la captura automática mediante el software de visión artificial. La recolección manual de datos enmarca el procedimiento a seguir durante los aforos, en los accesos semaforizados previamente seleccionados.

3.2.1. Cronograma para la toma de información. A continuación en la Tabla 11., se presenta el cronograma para la toma de información en cada una de los accesos que fueron estudiados. Los períodos aforados fueron tanto en la mañana como en la tarde en días entre semana.

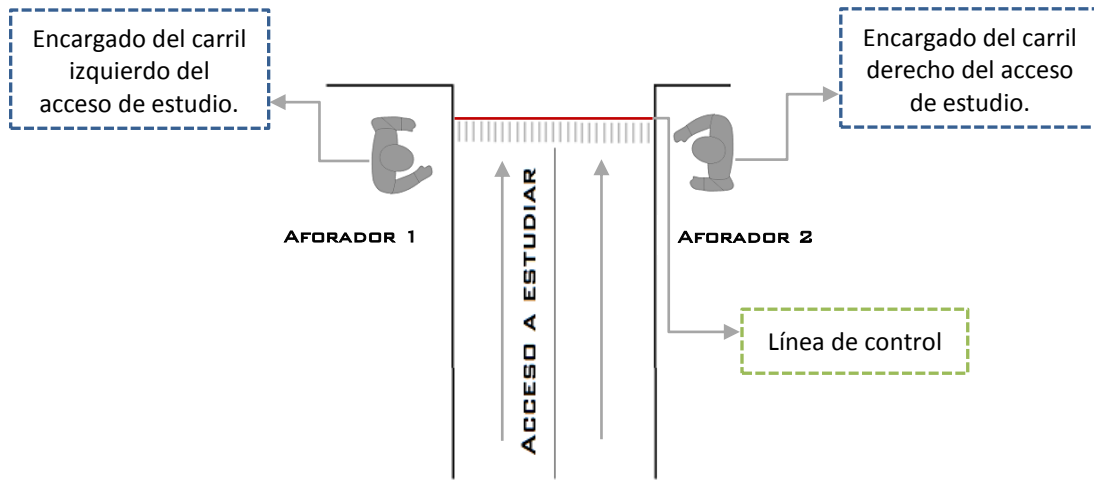
Tabla 11 . Cronograma para la toma de información.

CRONOGRAMA PARA LA TOMA DE INFORMACIÓN				
Dirección	No Externo	Grupo	Fecha	Día
Calle 100 x Carrera 49	1344	3	1 de marzo de 2013	Viernes
Calle 100 x Carrera 53	1345	4	4 de marzo de 2013	Lunes
Calle 100 x Carrera 60	1202	3	5 de marzo de 2013	Martes
Carrera 68 x Calle 98	1347	2	6 de marzo de 2013	Miércoles
Carrera 68 x Calle 23	2402	1	7 de marzo de 2013	Jueves
Carrera 7 x Calle 106	1259	1	8 de marzo de 2013	Viernes

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Observaciones en campo. Ya que todos los accesos seleccionados tenían 2 carriles, se dispuso de dos observadores, para que registraran los eventos presentados en cada uno de los carriles. Los observadores se ubicaron en lugares con buena visibilidad; tanto de la línea de pare, como de la cola que se formaba detrás de esta; ya que dicha línea fue la referencia para los conteos, como lo muestra el Esquema 13.

Esquema 13. Ubicación de personal en el acceso estudiado.



Fuente: Elaboración propia.

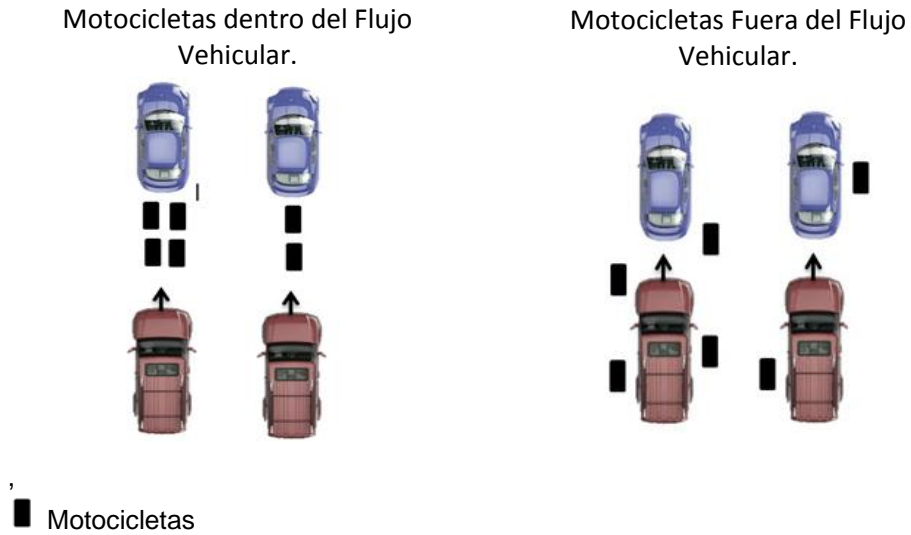
Los observadores registraban cualquier evento que pudiese afectar el flujo de saturación, teniendo en cuenta la lista de posibles acontecimientos consignados en la Tabla 12., aunque si ocurría otro suceso diferente a los de la tabla y que afectara el flujo deseado, se debía registrar de la misma manera. Las observaciones debían registrarse en el Formato 1., con el respectivo tiempo y ciclo; de inicio y fin del evento.

Tabla 12. Posibles observaciones en campo.

OBSERVACIONES		
Accidente	Lluvia	Problema del semáforo
Cambio de ciclo por contraflujo	Paso de ambulancia	Protesta
Cambio de tiempo de ciclo	Paso del tren	Vehículo estacionado
Cambio de tiempo de verde	Peatón obstruye la vía	Venta ambulante

Fuente: Elaboración propia.

Esquema 14. Identificación de motocicletas dentro y fuera del flujo vehicular.



Fuente: Elaboración propia

Los observadores encargados de esta tarea, ponían en marcha los cronómetros cuando el semáforo cambiaba a verde y de acuerdo a los formatos y sus divisiones por intervalos cada 6 segundos, se registraba la motocicleta, en el intervalo correspondiente dentro del formato correspondiente (ver Formato 2.)

Formato 2. Motocicletas fuera del flujo.

CONTEO DE MOTOCICLETAS FUERA DEL FLUJO																		
Fecha (D/MA):			Hora de Inicio:			Número Externo:			Hoja:									
Día:			Hora de Final:			Localización:			De:									
Clima:			Tiempo de Ciclo:			Grupo:			Carril:									
Período:			Tiempo de Verde:			Acceso:												
No. Ciclo	Hora Inicio	Hora Fin	Cantidad de Motocicletas por período															
			0-6	6-12	6-12	12-18	18-24	24-30	30-36	35-42	42-48	48-54	54-60	66-72	72-78	78-84	84-90	90-96
			M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Capacitaciones personal contratado. La capacitación se hizo en dos (2) horas teóricas de instrucción, se explicó cómo llenar los formatos adecuadamente, la ubicación que cada observador debía tener y se resolvieron dudas. De la misma forma se les indicó la importancia de ser minuciosos, tanto para registrar las observaciones que pudiesen afectar el flujo continuo deseado, como para hacer los conteos de las motocicletas fuera del flujo vehicular.

3.3. RECOLECCIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS

Se realizaron tres (3) estudios simultáneos con la captura automática de datos de tránsito, mediante videos con el software de visión artificial (ver numeral 1.4.5.), para los seis (6) accesos seleccionados previamente (ver Tabla 5.); estos estudios corresponden a volúmenes vehiculares, flujo de saturación y factor de equivalencia. Se tuvo en cuenta la clasificación de vehículos de automóviles, buses, camiones y motocicletas para todos los conteos (ver anexo 1).

Para la grabación de los videos, se hizo necesario ubicar a un lado del acceso, una estructura metálica compuesta de una base y una serie de tubos continuos, para sostener la cámara, que en conjunto alcanzaban una altura de 5 m como se puede visualizar en la Figura 14., puesto que, el software utilizado, trabaja con vista en planta, y captura los vehículos a alturas mayores de 4 metros, y exige un enfoque del total tanto de los carriles del acceso como de la línea de control para el conteo, ver enfoque en Figura 15. Adicionalmente, se instaló un computador portátil para guardar simultáneamente los videos.

Figura 15 . Montaje del trípode y la cámara de video.



Fuente: Los autores

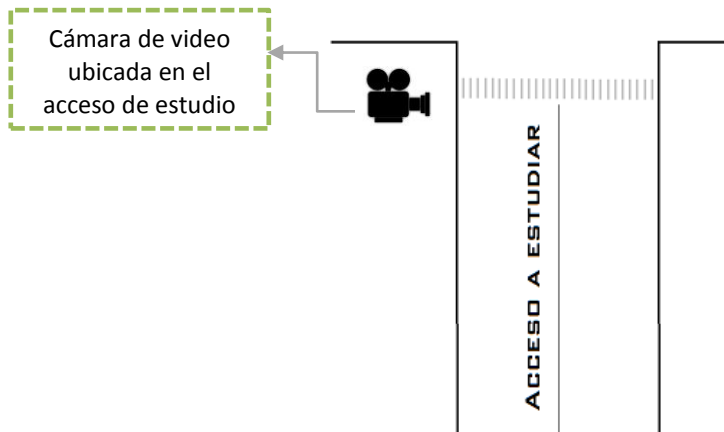
Figura 16. Enfoques necesarios para la toma de información mediante videos.



Fuente: Los autores

La ubicación del montaje del trípode de soporte, se hizo a un lado del acceso, preferiblemente en un lugar dónde no se interrumpiera el espacio peatonal, en caso de que hubiese. Para ver la ubicación de la cámara en el acceso (ver Esquema 15.)

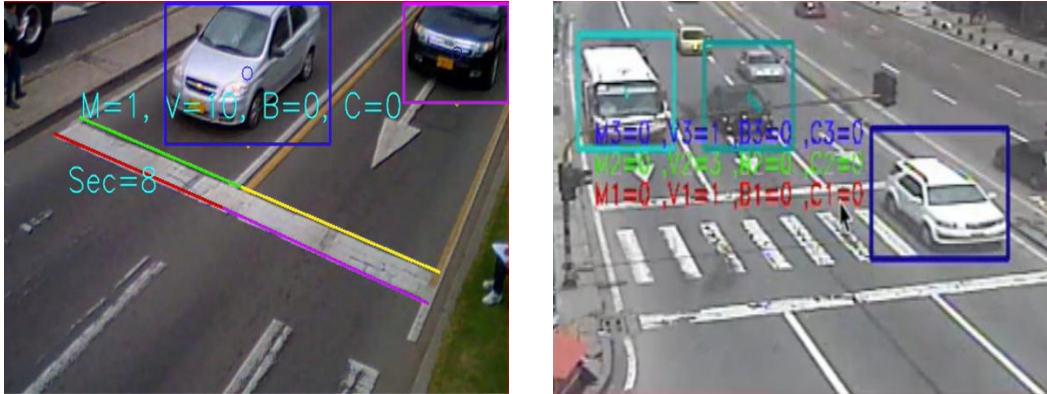
Esquema 15. Ubicación de cámara en el acceso estudiado.



Fuente: Elaboración propia.

Por último y una vez grabados todos los videos en los períodos y accesos seleccionados previamente, se pone en marcha el software de visión artificial, teniendo en cuenta los tiempos de inicio de verde para ordenarle al programa la captura de vehículos a partir de ese momento. El software asigna un cuadro de color a los vehículos dependiendo su tipo como se muestra en la Figura 16. Y los hace parte del contador, sólo cuando estos pasan la línea de control (línea de pare).

Figura 17. Procesamiento de videos con el software de visión artificial.



Fuente: Los autores

En cuanto a los intervalos de paso entre vehículos, el software de visión artificial, determina el tiempo entre defensas delanteras de 2 vehículos, mostrando estos intervalos en segundos en un cuadro de código al lado del video por carril, como muestra la Figura 18.


Figura 18. Procesamiento de videos con el software de visión artificial para intervalos de paso entre vehículos.



Fuente: Los autores

3.3.1. Consignación de datos. Los datos obtenidos por el software de visión artificial, se consignaron en los formatos de: flujo de saturación por el método de Webster & Cobbe, con el conteo de vehículos discriminados por tipo, en intervalos cada 6 segundos; y factor de equivalencia con los respectivos intervalos entre vehículos tomados en campo (ver Formato 3. y Formato 4.)

Formato 4. Factor de equivalencia.

FORMATO FACTOR DE EQUIVALENCIA	
---------------------------------------	---

Fecha (D/MA):		Hora de Inicio:		Número Externo:		Hoja:	
Día:		Hora de Final:		Localización:		De:	
Clima:		Tiempo de Ciclo:		Grupo:		Carril:	
Período:		Tiempo de Verde:		Acceso:			

No. Ciclo	Cantidad de Vehiculos por periodo																								
	0-1		1-2		2-3		3-4		4-5		5-6		6-7		7-8		8-9		9-10		10-11		11-12		
	v-v	Tiempo	v-v	Tiempo	v-v	Tiempo	v-v	Tiempo	v-v	Tiempo	v-v	Tiempo	v-v	Tiempo	v-v	Tiempo	v-v	Tiempo	v-v	Tiempo	v-v	Tiempo	v-v	Tiempo	
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									
13																									
14																									
15																									
16																									
17																									
18																									
19																									
20																									

Fuente: Elaboración Propia

4. INFORMACIÓN RECOPIADA EN CAMPO

Para el adecuado análisis y procesamiento de la información, es necesario conocer los datos recopilados en campo. Para efectos de esta Investigación, esta información contiene: Observaciones registradas, ciclos saturados y motocicletas dentro del flujo vehicular, para cada acceso del estudio.

4.1. OBSERVACIONES RECOPIADAS EN CAMPO

Las observaciones registradas en campo, mediante el Formato 1, consignadas a partir de la información de llenado e identificación de eventos, que se menciona en el numeral 2.2.2, se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Observaciones recopiladas en campo.

OBSERVACIONES RECOLECTADAS EN CAMPO				
Acceso	Período	Ciclo		Observaciones
		Desde	Hasta	
CALLE 100 CARRERA 49 (G-3)	Mañana	6	10	Se presenta lluvia sin alteración al flujo
		68	68	Vehículo estacionado carril izquierdo
		77	77	Congestión por problemas en semáforo
	Tarde	10,14,24,64		Vehículo cambia de carril
		44	44	Vehículo estacionado carril derecho
		58	58	Cambio de tiempo de verde. Duración: 2 minutos 31 segundos
		65	65	Obstrucción por peatón en la vía
		67,84		Congestión
CALLE 100 CARRERA 53 (G-4)	Mañana	10,19,21,23,29,30,33,40,44,59,60,73,81		Congestión carril izquierdo
		11,24,80		Congestión carril derecho
		14	14	Obstrucción por peatón
		16	16	Vehículo cambia de carril
		17,18,31,32,34,36,37-39,42,43,46-58,68,70,74-76,79,82		Congestión
		28	28	Cambio de tiempo de verde. Duración: 3 minutos 6 segundos
		83	83	Vehículo estacionado carril derecho
		84	84	Obstrucción por venta ambulante
	Tarde	2,3,5,6,51,70		Congestión carril derecho
		4,21,27,86		Vehículo estacionado por 2 segundos carril izquierdo
		17,18,69,72		Giro no permitido
		26	26	Congestión
		28,29,56,60,62,84		Venta ambulante
		33,82		Peatón obstruye el flujo
		34	34	Vehículo estacionado por 2 segundos

OBSERVACIONES RECOLECTADAS EN CAMPO				
Acceso	Período	Ciclo		Observaciones
		Desde	Hasta	
CALLE 100 CARRERA 53 (G- 4)	Tarde	38	38	Giro no permitido
		42	42	Congestión
		45	45	Peatón obstruye el flujo
		80	80	Vehículo estacionado
		85	85	Paso de ambulancia
		88	88	Vehículo estacionado carril derecho
		89	89	Paso de ambulancia
CALLE 100 AVENIDA SUBA (G- 3)	Mañana	1,3,6,10,14,18		Policía detiene vehículos para dar paso a los vehículos de la Avenida Suba
		12	12	Vehículo estacionado carril derecho
		20	20	Vehículo estacionado carril izquierdo
		23-29,31-33,41,43-45,49,60		Congestión por semáforo
		42	42	Congestión carril izquierdo
		67	67	Paso de ambulancia
		79	79	Vehículo varado carril izquierdo
	Tarde	19	19	Vehículo estacionado carril izquierdo
		24,29		Venta ambulante
		52	52	Paso de ambulancia
		71	71	Vehículo estacionado carril derecho
		9,26		Congestión carril izquierdo
		14,75		Congestión carril derecho
AVENIDA 68 CALLE 98 (G- 2)	Mañana	32	32	Congestión
		60	60	Vehículo estacionado carril izquierdo
		67,69,80		Paso de ambulancia
		84	84	Congestión por accidente calzada lateral
		86	86	Cambio de tiempo de verde. Duración: 3 minutos
		87	87	Cambio de tiempo de verde. Duración: 1 minutos 55 segundos
		4,37,60		Congestión carril izquierdo
		17		Congestión
	Tarde	24	24	Paso de Ambulancia
		26,49		Congestión carril derecho
		31	31	Cambio de tiempo de verde. Duración 03:51
		33	33	Cambio de tiempo de verde. Duración 01:24
		34	34	Cambio de tiempo de verde. Duración 01:18
		35	35	Cambio de tiempo de verde. Duración 00:27
		38,42		Carro detenido sobre el carril derecho
44		44	Carro detenido sobre el carril izquierdo	
47		47	Paso de Ambulancia	
57		57	Congestión	
58	58	Vehículo detenido		

OBSERVACIONES RECOLECTADAS EN CAMPO				
Acceso	Período	Ciclo		Observaciones
		Desde	Hasta	
AVENIDA 68 CALLE 23 (G-1)	Mañana	14	14	Cambio de tiempo de verde. Duración: 1 minuto 25 segundos
		63	63	Giro prohibido carril derecho
		68	68	Paso del tren
		75	75	Cambio de tiempo de verde. Duración: 1 minuto 25 segundos
		77	77	Cambio de tiempo de verde. Duración: 2 minutos 24 segundos
		84	84	Cambio de tiempo de verde. Duración: 1 minuto 25 segundos
		86	86	Cambio de tiempo de verde. Duración: 1 minuto 25 segundos
		88	88	Cambio de tiempo de verde. Duración: 1 minuto 25 segundos
		89	89	Congestión carril derecho
	Tarde	2	2	Cambio de tiempo de verde. Duración: 2 minutos 53 segundos
		7,11		Vehículo de tracción animal carril izquierdo
		9,10,12,13,14,18,41,48,51,54		Congestión carril izquierdo
		17	17	Vehículo estacionado carril izquierdo
		18	18	Vehículo de tracción animal
		45,46		Congestión carril derecho
		56	56	Camión estacionado carril izquierdo
		58	58	Paso de ambulancia
		69	69	Vehículo estacionado carril izquierdo
		73	73	Paso de peatón carril izquierdo
		74	74	Congestión
78,80,81		Vehículo estacionado carril izquierdo		
83	85	Congestión		
CARRERA 7 CALLE 106 (G-1)	Mañana	1		Congestión carril izquierdo
		4,9,13,18,27,36,45,54		Cambio de tiempo de verde. Duración: 2 minutos
		8,26		Congestión carril derecho
		22,31,40,49		Cambio de tiempo de verde. Duración: 2 minutos 6 segundos
		43	43	Venta ambulante carril derecho
		61,62,73		Congestión
	Tarde	2,12,14,17,39,50,68-70		Congestión carril derecho
		47,48,72,75		Congestión carril izquierdo
		34	34	Vehículo cambia de carril
		46	46	Cambio de tiempo de verde. Duración: 1 minutos 30 segundos
49,54,56,57,79,82,83,85,87		Vehículo cambia de carril		

Fuente: Elaboración propia.

4.2. CICLOS QUE PRESENTARON SATURACIÓN EN CAMPO

A partir de la información de flujo de saturación recopilada en campo, se filtraron los datos, teniendo en cuenta únicamente los ciclos que presentaron saturación,

durante todo el tiempo de verde. Los ciclos resultantes de este este proceso, se consignan en la Tabla 14.

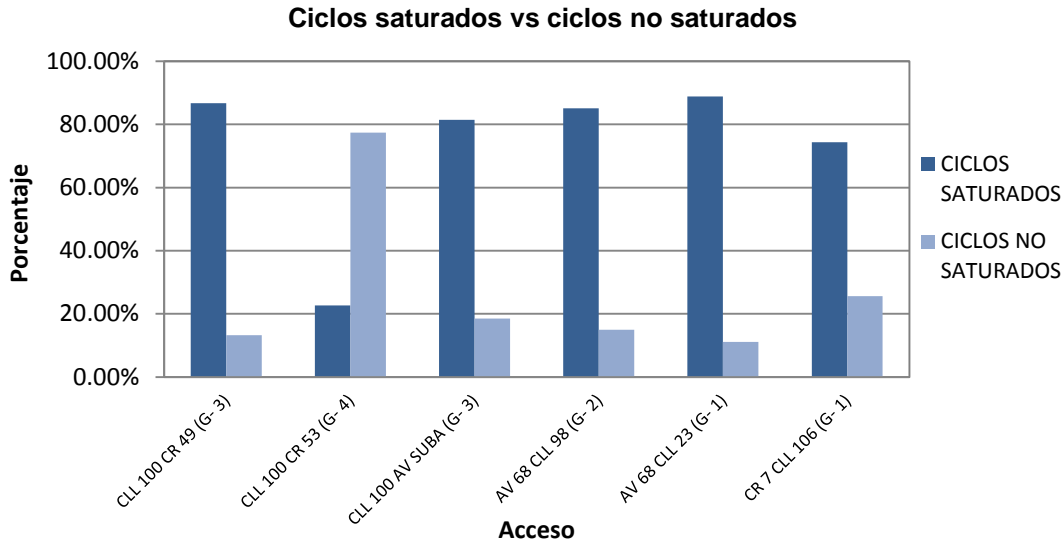
Tabla 14. Ciclos saturados en campo en los accesos de estudio.

CICLOS SATURADOS							
Acceso	Período	Ciclos					
Cll 100 x Cr 49 (G- 3)	Mañana	1 - 5	11 - 67	69	72 - 76	78 - 80	83
	Tarde	1 - 9	11 - 13	15 - 23	25 - 42	45 - 48	50
52 - 57		59 - 63	68 - 69	71 - 78	80 - 83		
Cll 100 x Cr 53 (G- 4)	Mañana	3	10	12 - 13	15	22	41
		47	61 - 67	72 - 73	77 - 78		
	Tarde	1	7 - 16	19 - 20	22 - 25	30	32
		35 - 37	39 - 40	43 - 44	46 - 48	50	52 - 69
		71	73 - 78	83	87	90	
Cll 100 x Av Suba (G- 3)	Mañana	2	4 - 5	7 - 9	11	13	15 - 17
		19	21 - 22	30	34 - 40	46 - 48	50 - 57
		59	61 - 66	68 - 77	81		
	Tarde	1 - 7	10 - 18	20	23	25 - 28	30 - 34
		38	40 - 41	49 - 50	54	60 - 62	65
		75 - 77	79 - 80	82	83	87	90
Av 68 x Cll 98 (G- 2)	Mañana	1 - 8	10 - 13	15-25	27-31	33 - 45	47-59
		61 - 66	68	70-74	76-79	81 - 83	85
	Tarde	1 - 3	5 - 16	18 - 23	25	27 - 30	32
		36	39 - 41	43	45 - 46	48	50
Av 68 x Cll 23 (G- 1)	Mañana	1 - 13	15 - 62	64 - 67	69 - 74	78 - 79	81-83
		85	87	90			
	Tarde	1	3 - 6	8 - 10	12 - 16	19 - 44	47
		49-50	52-53	55	57	59 - 68	70 - 72
		75 - 77	79	82	86 - 89		
Cr 7 x Cll 106 (G- 1)	Mañana	2 - 3	5 - 7	10 - 12	14 - 17	19 - 21	23 - 25
		28 - 30	32 - 35	37 - 39	41 - 42	44	46 - 48
		50 - 53	55 - 60	63 - 67	69 - 72	74 - 82	
	Tarde	1	3 - 11	13	15 - 30	32 - 33	35 - 38
		40 - 45	52 - 53	55	58 - 67	71	73 - 74
		76 - 78	80 - 81	84	86		

Fuente: Elaboración propia.

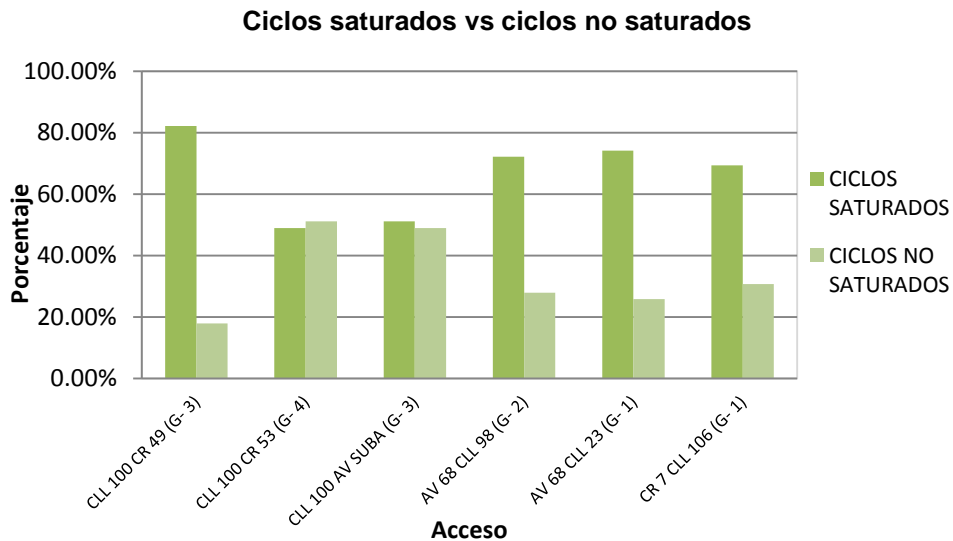
Para analizar los ciclos que presentaron saturación en campo en la Tabla 14, se presentan a continuación los porcentajes de ciclos saturados y no saturados para períodos tanto de la mañana como de la tarde, en la Gráfica 6. y Gráfica 7. respectivamente.

Gráfica 6. Relación entre ciclos saturados y no saturados (Mañana).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 7. Relación entre ciclos saturados y no saturados (Tarde).

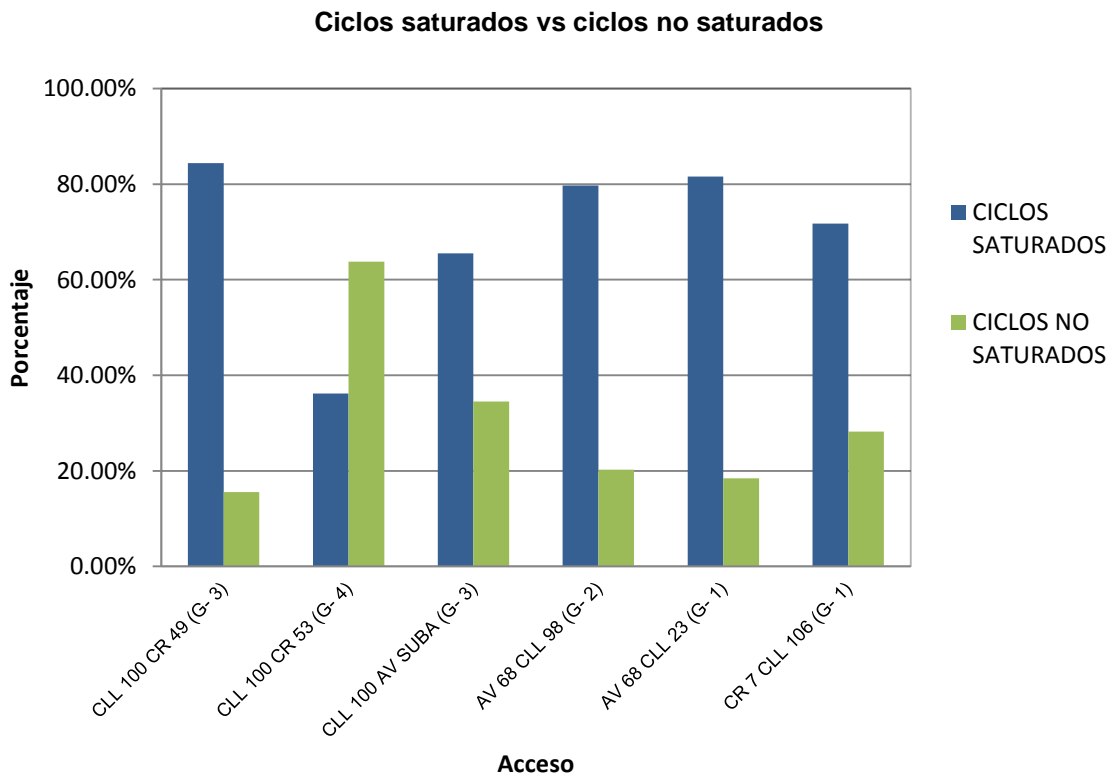


Fuente: Elaboración propia.

Se observa con claridad como el mayor porcentaje de ciclos no saturados se presenta en el período de la tarde (15:00-18:00); también se observa un notable porcentaje de ciclos no saturados, en el acceso de la Calle 100 con Carrera 53, ya que en este se presentaban congestiones debido a policías de tránsito que daban paso a los vehículos de la Avenida Suba.

En la Gráfica 8., se evidenció el bajo porcentaje de ciclos saturados en el acceso de la Calle 100 con Carrera 53. También se puede observar en el acceso de la Calle 100 con Carrera 49, el porcentaje más bajo de ciclos no saturados, en cuanto a los demás accesos que presentan proporciones similares de ciclos saturados y no saturados.

Gráfica 8. Relación entre ciclos saturados y no saturados



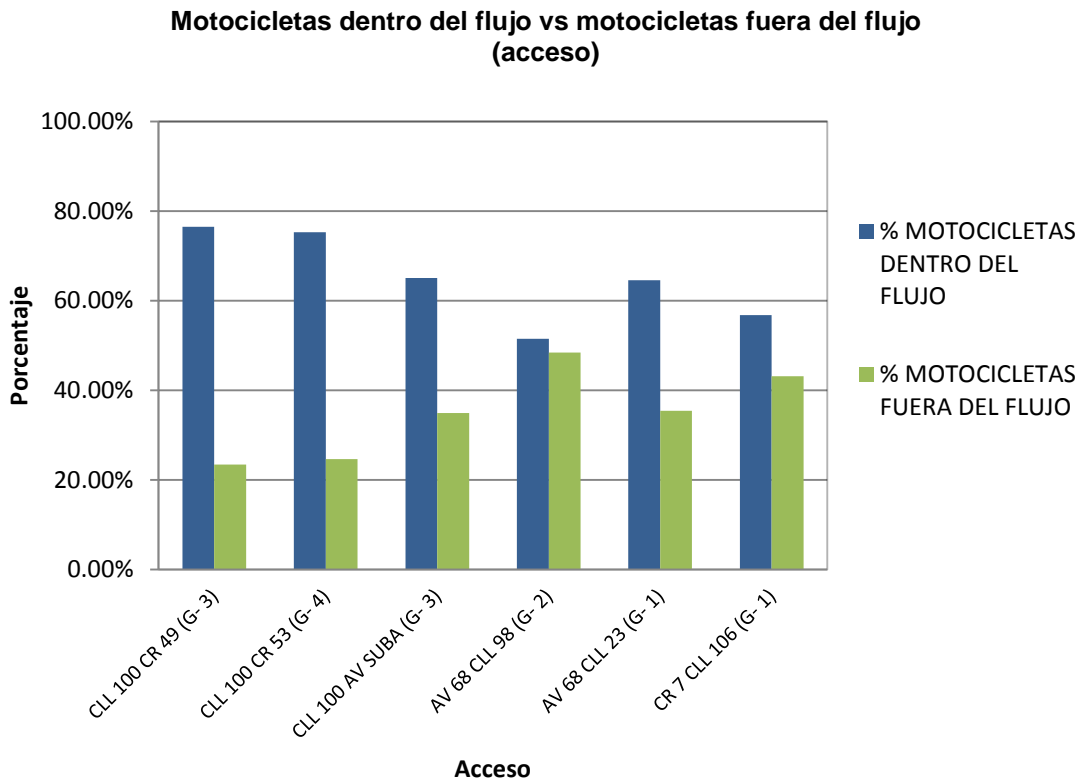
Fuente: Elaboración propia.

4.3. MOTOCICLETAS FUERA DEL FLUJO VEHICULAR.

Como se mencionó en el numeral 3.2.3, se hizo el conteo y registro de las motocicletas fuera del flujo vehicular de manera manual, a partir del Formato 2.

Las motocicletas resultantes de este proceso se muestran en la Gráfica 9.

Gráfica 9. Comportamiento de las motocicletas fuera y dentro del flujo vehicular.



Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 9, en cuanto al comportamiento de las motocicletas en los accesos de estudio, en general se presentan porcentajes mayores de motocicletas dentro del flujo contra porcentajes de motocicletas fuera del flujo vehicular.

4.4. UNIFICACIÓN DE DATOS

Para realizar los cálculos definitivos de los estudios tanto de flujo de saturación como de factor de equivalencia, inicialmente se agruparon todos los datos por acceso en archivos de Microsoft Excel. Cada uno entonces, dividido en pestañas por carril (izquierdo y derecho), con su respectivo período (mañana y tarde), para evitar confusiones y tener disponibilidad de toda la información del acceso en un mismo archivo.

Finalmente para el proceso de análisis, se agrupó la información por carril de cada acceso, reuniendo los datos de flujo de saturación obtenidos de los períodos de la mañana y la tarde en una sola pestaña.

5. RESULTADOS

Los aforos manuales y automáticos, consolidaron y procesaron la información de los estudios planteados de factor de equivalencia, volúmenes vehiculares y flujo de saturación, en consecuencia estos dieron lugar a las tablas de resultados y las gráficas correspondientes; las cuales se presentan a continuación.

5.1. FACTOR DE EQUIVALENCIA

La determinación del flujo de saturación se basa en intervalos de paso entre vehículos del mismo tipo (automóviles, buses, camiones y motocicletas), en comparación con intervalos entre automóviles; para esto, se consideró un estudio estadístico por acceso para evaluar la representatividad del mismo y la estimación del factor de equivalencia para los diferentes tipos de vehículos.

5.1.1. Resumen estadístico por acceso. La información recopilada en campo para el estudio de factor de equivalencia, una vez unificada y depurada a cabalidad, correspondiente a los seis (6) accesos de estudios, se agrupó y se utilizó la herramienta de Microsoft Excel “Análisis de datos”, obteniendo un resumen estadístico general, ver Tabla 15.

Tabla 15. Resumen estadístico general.

RESUMEN ESTADÍSTICO				
TIPO DE VEHÍCULO	Autos	Motos	Buses	Camiones
Media (seg)	1,689	0,566	3,467	4,193
Error típico	0,006	0,008	0,034	0,057
Mediana	1,621	0,571	3,461	4,219
Moda	1,673	0,406	3,645	3,959
Desviación estándar (seg)	0,420	0,288	0,666	0,865
Varianza de la muestra (seg)	0,185	0,086	0,455	0,880
Mínimo (seg)	0,190	0,070	1,150	0,450
Máximo (seg)	3,470	3,460	5,780	6,780
Suma (seg)	7045,090	768,527	1280,650	983,032
Muestra (intervalos)	4189,000	1361,000	375,000	233,000
Nivel de confianza (95.0%)	0,018	0,021	0,073	0,108

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se utilizaron datos estadístico-descriptivos de cada acceso como las desviaciones estándar, para verificar que el número muestral mínimo teórico, haya sido igual o mayor al observado, de acuerdo al análisis inicial que se desarrolló en el numeral 3.1.2, con el propósito de asegurar la representatividad del estudio (ver Tabla 16.). Se utilizó un error tolerable de ± 0.22 segundos y un nivel de confianza del 95%

Tabla 16. Número muestral mínimo teórico y observado por acceso.

ACCESO	Calle 100 Carrera 49 (G-3)				Calle 100 Carrera 53 (G-4)			
TIPO DE VEHÍCULO	Autos	Motos	Buses	Camiones	Autos	Motos	Buses	Camiones
Media (seg)	1,604	0,631	3,304	3,848	1,908	0,700	3,956	4,750
Error típico	0,014	0,028	0,113	0,725	0,021	0,020	0,096	0,182
Mediana	1,560	0,630	3,140	4,495	1,900	0,760	4,230	4,530
Moda	1,820	0,430	3,010	-	2,670	0,490	4,320	5,320
Desviación estándar (seg)	0,366	0,392	0,563	1,776	0,549	0,241	0,558	0,874
Varianza de la muestra (seg)	0,134	0,154	0,317	3,152	0,302	0,058	0,311	0,764
Curtosis	1,631	26,218	-0,456	3,543	-0,923	-0,504	0,412	-1,024
Coefficiente de asimetría	0,290	4,236	0,590	-1,856	0,325	-0,171	-0,984	-0,081
Rango	2,790	3,070	2,210	4,760	2,600	1,240	2,310	2,980
Mínimo (seg)	0,190	0,120	2,350	0,450	0,870	0,120	2,340	3,120
Máximo (seg)	2,980	3,190	4,560	5,210	3,470	1,360	4,650	6,100
Suma (seg)	1076,525	122,997	82,590	23,090	1360,599	105,010	134,500	109,260
Muestra (intervalos)	671,000	195,000	25,000	6,000	713,000	150,000	34,000	23,000
Nivel de confianza (95.0%)	0,028	0,055	0,232	1,863	0,040	0,039	0,195	0,378
Muestra mínima (intervalos)	11,000	13,000	26,000	251,000	24,000	5,000	25,000	61,000
ACCESO	Calle 100 Av. Suba (G-3)				Avenida 68 Calle 98 (G-2)			
TIPO DE VEHÍCULO	Autos	Motos	Buses	Camiones	Autos	Motos	Buses	Camiones
Media (seg)	1,695	0,522	3,679	4,289	1,782	0,548	3,630	4,342
Error típico	0,017	0,014	0,122	0,141	0,022	0,021	0,123	0,181
Mediana	1,640	0,490	3,460	4,260	1,670	0,540	3,485	4,170
Moda	1,240	0,120	4,320	4,120	1,230	0,650	3,120	3,950
Desviación estándar (seg)	0,447	0,254	0,711	0,761	0,512	0,291	0,650	0,831
Varianza de la muestra (seg)	0,200	0,065	0,505	0,579	0,263	0,085	0,423	0,691
Curtosis	-0,116	-0,660	-1,356	0,553	-0,612	0,491	-0,591	-0,269
Coefficiente de asimetría	0,867	0,238	-0,209	0,849	0,538	0,494	-0,473	0,421
Rango	1,860	1,290	2,310	2,980	2,890	1,640	2,440	2,980
Mínimo (seg)	1,120	0,070	2,340	3,120	0,370	0,120	2,120	3,120
Máximo (seg)	2,980	1,360	4,650	6,100	3,260	1,760	4,560	6,100
Suma (seg)	1134,240	166,600	125,100	124,371	962,420	109,690	101,650	91,180
Muestra (intervalos)	669,000	319,000	34,000	29,000	540,000	200,000	28,000	21,000
Nivel de confianza (95.0%)	0,034	0,028	0,248	0,289	0,043	0,041	0,252	0,378
Muestra mínima (intervalos)	16,000	6,000	41,000	46,000	21,000	7,000	34,000	55,000

ACCESO	Avenida 68 Calle 23 (G-1)				Calle 106 Carrera 7 (G-1)			
TIPO DE VEHÍCULO	Autos	Motos	Buses	Camiones	Autos	Motos	Buses	Camiones
Media (seg)	1,539	0,546	3,245	4,211	1,549	0,556	3,287	3,833
Error típico	0,014	0,023	0,116	0,118	0,009	0,034	0,135	0,129
Mediana	1,450	0,560	3,240	4,250	1,540	0,610	3,130	3,760
Moda	1,230	0,120	3,450	3,540	1,230	0,650	3,650	3,540
Desviación estándar (seg)	0,303	0,327	0,768	0,708	0,280	0,251	0,686	0,465
Varianza de la muestra (seg)	0,092	0,107	0,590	0,501	0,079	0,063	0,471	0,216
Curtosis	2,159	30,262	1,323	3,410	0,219	-1,022	0,089	0,590
Coefficiente de asimetría	1,106	3,421	0,873	1,139	0,509	-0,309	0,803	0,877
Rango	2,240	3,350	3,670	3,570	2,240	0,860	2,530	1,690
Mínimo (seg)	0,670	0,110	2,110	3,210	0,700	0,120	2,340	3,120
Máximo (seg)	2,910	3,460	5,780	6,780	2,940	0,980	4,870	4,810
Suma (seg)	720,442	109,660	142,760	151,610	1357,119	31,110	85,470	49,830
Muestra (intervalos)	468,000	201,000	44,000	36,000	876,000	56,000	26,000	13,000
Nivel de confianza (95.0%)	0,028	0,045	0,234	0,240	0,019	0,067	0,277	0,281
Muestra mínima (intervalos)	8,000	9,000	47,000	40,000	7,000	5,000	38,000	18,000
ACCESO	Calle 100 Av. Suba (G-3A)				Avenida 68 Calle 98 (G-2A)			
TIPO DE VEHÍCULO	Autos	Motos	Buses	Camiones	Autos	Motos	Buses	Camiones
Media (seg)	1,635	0,519	3,235	4,072	1,796	0,509	3,398	4,195
Error típico	0,036	0,019	0,053	0,099	0,044	0,032	0,095	0,110
Mediana	1,540	0,530	3,210	4,120	1,670	0,450	3,790	4,170
Moda	1,830	0,560	3,140	4,120	2,130	0,230	4,150	3,120
Desviación estándar (seg)	0,390	0,220	0,531	0,731	0,508	0,330	0,862	0,777
Varianza de la muestra (seg)	0,152	0,048	0,282	0,535	0,258	0,109	0,743	0,604
Curtosis	0,416	-0,781	2,757	2,476	-0,291	3,527	0,104	-0,196
Coefficiente de asimetría	1,078	0,048	0,057	-0,700	0,418	1,443	-0,957	0,091
Rango	1,510	0,900	3,600	4,260	2,890	1,750	3,170	3,140
Mínimo (seg)	1,220	0,120	1,270	1,520	0,370	0,120	1,150	2,540
Máximo (seg)	2,730	1,020	4,870	5,780	3,260	1,870	4,320	5,680
Suma (seg)	191,315	70,050	329,963	223,941	242,430	53,410	278,617	209,750
Muestra (intervalos)	117,000	135,000	102,000	55,000	135,000	105,000	82,000	50,000
Nivel de confianza (95.0%)	0,071	0,037	0,104	0,198	0,086	0,064	0,189	0,221
Muestra mínima (intervalos)	13,000	4,000	23,000	43,000	21,000	9,000	59,000	48,000

Fuente: Elaboración propia

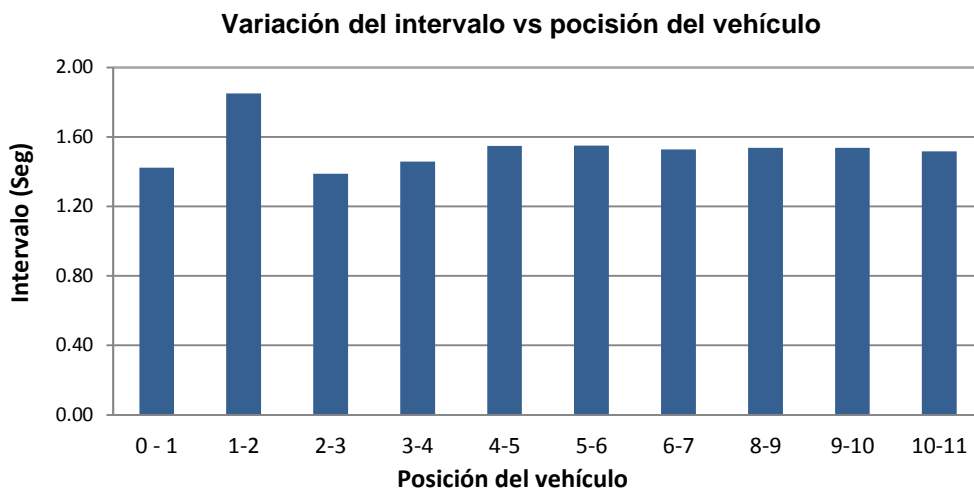
La Tabla 16., muestra un resumen estadístico de cada acceso por tipo de vehículo, así como el número de intervalos observados (muestra); y el número de intervalos mínimos teóricos, hallados a partir de la desviación estándar (muestra mínima). Por consiguiente, se observa la misma situación en los 6 accesos de estudio; el número de conteos observados, es mayor al número muestral mínimo. Con base en lo anterior, se puede confirmar la representatividad de los resultados del estudio de factor de equivalencia, y por tanto las conclusiones del mismo.

5.1.2. Estimación de factores de equivalencia. Para este estudio, se seleccionaron únicamente los intervalos correspondientes a los ciclos saturados (ver Tabla 14.) y se analizaron los primeros 10 vehículos en cola de cada uno,

como se menciona en el numeral 2.4.4, ya que de esta manera se garantiza el flujo de máxima demanda.

Posteriormente, se promediaron los datos en cada una de las intersecciones, para realizar el análisis de comportamiento de intervalos, (ver Gráfica 10.), observando efectivamente, como sugiere el Manual de Planeación y Diseño para Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C.,²³ que a partir del cuarto vehículo el intervalo se estabiliza; por tanto, se promediaron los intervalos a partir del cuarto vehículo, agrupándolos de acuerdo al tipo de vehículo que corresponda.

Gráfica 10. Análisis del comportamiento de la variación del intervalo.



Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los datos obtenidos en campo, se observó que las intersecciones inicialmente seleccionadas (ver Tabla 5.), para el estudio de influencia por la presencia de motocicletas en la capacidad vial de accesos semaforizados, tenían porcentajes importantes de autos y motocicletas, pero que era necesario tener intersecciones complementarias a este único estudio, para contar con porcentajes mayores de buses y camiones, y así de esta manera determinar un factor de equivalencia razonable para todos los tipos de vehículos. Por esto se decidió realizar dos tomas de información más, en accesos que tuvieran presencia de vehículos pesados, y los seleccionados se muestran en la Tabla 17.

²³ CAL Y MAYOR, Rafael, et al. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. Parámetros de tránsito, caso Bogotá, Flujo Dicontinuo. 8 ed. Bogotá D.C., 1998-2005, vol. 2.

Tabla 17. Accesos adicionales para estudio de factor de equivalencia.

ACCESOS ADICIONALES			
Dirección	Localidad	Grupo	Porcentaje de vehículos pesados.
Calle 100 x Carrera 60	Suba	3A	18%
Carrera 68 x Calle 98	Suba	2A	27%

Fuente: Elaboración propia.

Los promedios de intervalos de paso por tipo de vehículos en segundos, se hicieron para todos los accesos de estudio, en la carpeta de factor de equivalencia del Anexo C. Para la determinación de los factores de equivalencia a partir de los intervalos se utilizaron las siguientes fórmulas para automóviles, buses, camiones y motocicletas respectivamente:

$$\alpha_{autos} = \frac{h_{autos}}{h_{autos}} \quad \alpha_{buses} = \frac{h_{autos}}{h_{buses}} \quad \alpha_{camiones} = \frac{h_{autos}}{h_{camiones}} \quad \alpha_{motos} = \frac{h_{autos}}{h_{motos}} \quad [4]$$

El resultado ponderado para el factor de equivalencia final, se muestra en la Tabla 18, correspondiente a automóviles, buses, camiones, y motocicletas.

Tabla 18. Factores de equivalencia utilizados en el estudio.

FACTORES DE EQUIVALENCIA MEDIDOS	
Factor Equivalencia _{Autos}	1,00
Factor Equivalencia _{Motocicletas}	0,34
Factor Equivalencia _{Buses}	2,01
Factor Equivalencia _{Camiones}	2,52

Fuente: Elaboración propia.

5.2. VOLÚMENES TOTALES

Los volúmenes obtenidos en campo son necesarios para los estudios que se pretenden realizar, esta composición vehicular fue discriminada por tipo de vehículo y calculada a partir de los factores de equivalencia determinados en el numeral 5.1. Los resultados de este estudio se consignan en la Tabla 19.

Tabla 19. Volúmenes totales discriminados.

VOLÚMENES TOTALES DISCRIMINADO POR EL TIPO DE VEHÍCULO							
Acceso	Período	Carril	Livianos	Buses	Camiones	Motos	Veh. Equivalentes
Cll 100 x Cr 49 (G- 3)	Mañana	Derecho	2197	76	84	1060	2922
		Izquierdo	2675	1	16	973	3048
Cll 100 x Cr 49 (G- 3)	Tarde	Derecho	2028	52	76	635	2540
		Izquierdo	2326	11	49	457	2627
Cll 100 x Cr 53 (G- 4)	Mañana	Derecho	2025	57	56	525	2459
		Izquierdo	1802	18	39	402	2073
Cll 100 x Cr 53 (G- 4)	Tarde	Derecho	2058	24	64	929	2583
		Izquierdo	1869	173	111	836	2781
Cll 100 x Av Suba (G- 3)	Mañana	Derecho	1005	57	45	1207	1643
		Izquierdo	1172	1	35	802	1535
Cll 100 x Av Suba (G- 3)	Tarde	Derecho	795	60	45	364	1153
		Izquierdo	884	28	34	293	1126
Av 68 x Cll 98 (G- 2)	Mañana	Derecho	2222	143	117	1501	3315
		Izquierdo	2312	3	118	1563	3147
Av 68 x Cll 98 (G- 2)	Tarde	Derecho	1520	114	78	587	2145
		Izquierdo	2329	137	29	710	2919
Av 68 x Cll 23 (G- 1)	Mañana	Derecho	2530	28	150	838	3249
		Izquierdo	2260	181	121	515	3104
Av 68 x Cll 23 (G- 1)	Tarde	Derecho	2080	271	222	1525	3703
		Izquierdo	2607	271	203	1476	4165
Cr 7 x Cll 106 (G- 1)	Mañana	Derecho	2681	13	25	382	2900
		Izquierdo	2890	61	34	324	3208
Cr 7 x Cll 106 (G- 1)	Tarde	Derecho	1729	86	59	623	2262
		Izquierdo	2016	78	31	438	2400

Fuente: Elaboración propia.

5.3. FLUJOS DE SATURACIÓN OBTENIDOS EN CAMPO

Para obtener los flujos de saturación obtenidos en campo, se utilizó la información procesada a partir del software de visión artificial. Este proceso se compone de un resumen estadístico por acceso, para evaluar la representatividad del mismo y las gráficas correspondientes a los intervalos promedio con su respectivo flujo de saturación obtenido en campo.

5.3.1. Resumen estadístico por acceso. La información recopilada en campo para el estudio de flujo de saturación, una vez unificada y depurada a cabalidad, correspondiente a los 6 accesos de estudio, se agrupó, y se utilizó la herramienta de Microsoft Excel “Análisis de datos”, obteniendo un resumen estadístico general. ver Tabla 20.

Tabla 20. Resumen estadístico general.

RESUMEN ESTADÍSTICO	
Media (veh/intervalo)	2,614
Error típico	0,030
Mediana	2,576
Moda	2,236
Desviación estándar (veh/intervalo)	1,139
Varianza de la muestra (veh/intervalo)	1,334
Mínimo (veh/intervalo)	0,000
Máximo (veh/intervalo)	14,080
Suma (veh/intervalo)	3796,529
Muestra (ciclos)	1423
Nivel de confianza (95.0%)	0,065

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se utilizaron datos estadístico-descriptivos de cada acceso como las desviaciones estándar, para verificar que el número muestral mínimo teórico, haya sido igual o mayor al observado, de acuerdo al análisis inicial que se desarrolló en el numeral 3.1.2, con el propósito de asegurar la representatividad del estudio (ver Tabla 21.). Se utilizó un error tolerable de ± 0.2 veh/intervalo y un nivel de confianza del 95%.

Tabla 21. Número muestral mínimo teórico y observado.

ACCESO	Calle 100 Carrera 49	Calle 100 Carrera 53	Calle 100 Av. Suba	Avenida 68 Calle 98	Avenida 68 Calle 23	Calle 106 Carrera 7
Media (veh/intervalo)	2,795	2,419	1,800	2,827	2,948	2,896
Error típico	0,075	0,086	0,085	0,068	0,077	0,060
Mediana	2,800	2,387	1,754	2,915	2,761	2,839
Moda	2,500	2,003	1,625	2,500	2,091	2,700
Desviación estándar (veh/intervalo)	1,256	1,066	1,155	1,066	1,306	0,987
Varianza de la muestra (veh/intervalo)	1,585	1,170	1,393	1,153	1,712	0,993
Mínimo (veh/intervalo)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Máximo (veh/intervalo)	10,040	8,540	14,080	8,560	9,700	7,530
Suma (veh/intervalo)	793,745	361,788	329,466	694,969	842,268	774,293
Muestra (ciclos)	284	152	183	245	291	268
Muestra mínima (ciclos)	152	110	129	110	164	94
Nivel de confianza (95.0%)	0,133	0,148	0,147	0,124	0,136	0,113

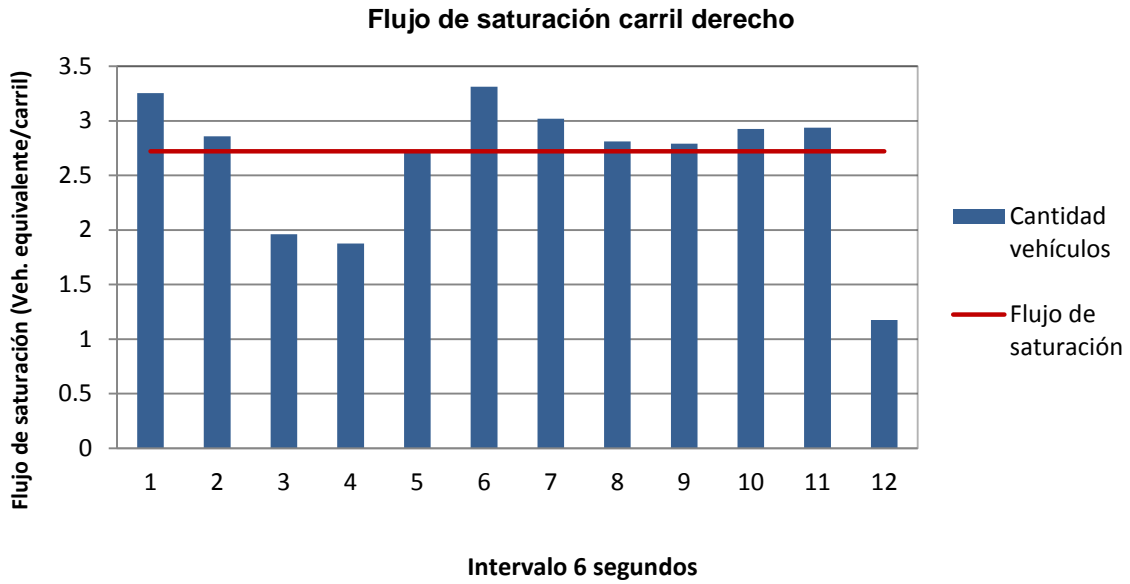
Fuente: Elaboración propia

La Tabla 21., muestra un resumen estadístico de cada acceso, así como el número de ciclos observados (muestra); y el número de ciclos mínimo teórico, hallado a partir de la desviación estándar (muestra mínima). Por consiguiente, se observa la misma situación en los 6 accesos de estudio; el número de conteos observados, es mayor al número muestral mínimo, en un promedio de 111 ciclos. Con base en lo anterior, se puede confirmar la representatividad de los resultados del estudio, y por tanto las conclusiones del mismo.

5.3.2. Flujo de saturación en veh./hora/carril. A partir de la información tomada en campo, mediante el método de Webster & Cobbe explicado en el numeral 1.4.3., se obtuvieron los flujos de saturación por carril. Esta información se resume en gráficas, presentadas a continuación dónde las barras son el número promedio de vehículos cada 6 segundos y la línea de color rojo es el flujo de saturación en veh./hora/carril, calculado con el promedio del número de vehículos cada 6 segundos, eliminando el primer y último vehículo.

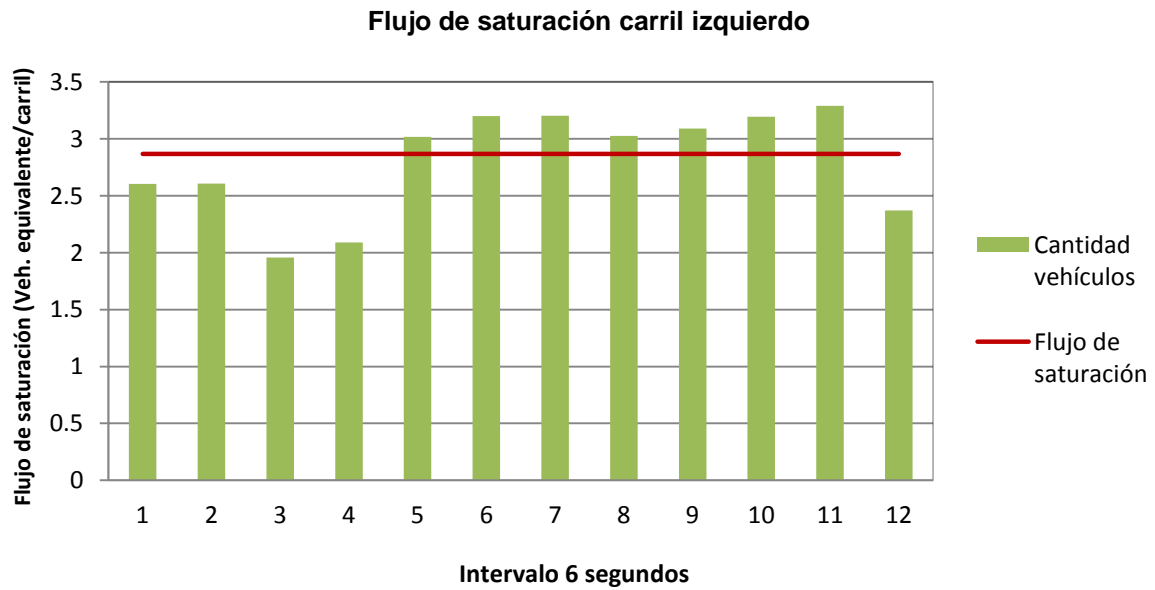
La Gráfica 11., y la Gráfica 12., corresponden al flujo de saturación por carril del acceso de la Calle 100 con Carrera 49 en el grupo 3, dónde se presenta un alza en el carril izquierdo en comparación con el carril derecho.

Gráfica 11. Flujo de saturación carril derecho, Calle 100 por Carrera 49.



Fuente: Elaboración propia

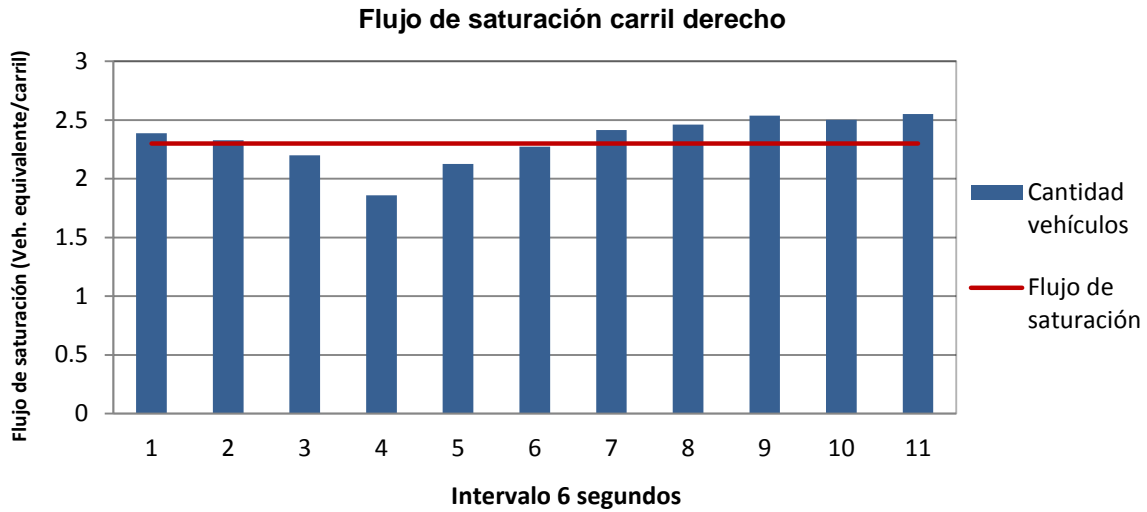
Gráfica 12. Flujo de saturación carril izquierdo, Calle 100 Carrera 49.



Fuente: Elaboración propia

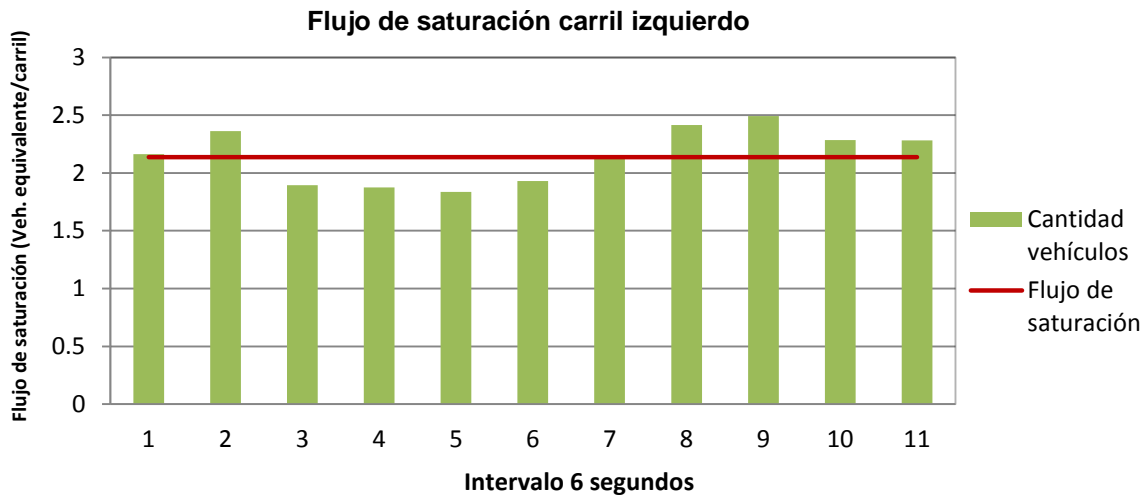
La Gráfica 13. y la Gráfica 14., muestran el flujo de saturación por carril del acceso de la Calle 100 con Carrera 53 en el grupo 4, donde se observa un mayor flujo de saturación en el carril derecho en comparación con el carril izquierdo.

Gráfica 13. Flujo de saturación carril derecho, Calle 100 Carrera 53.



Fuente: Elaboración propia

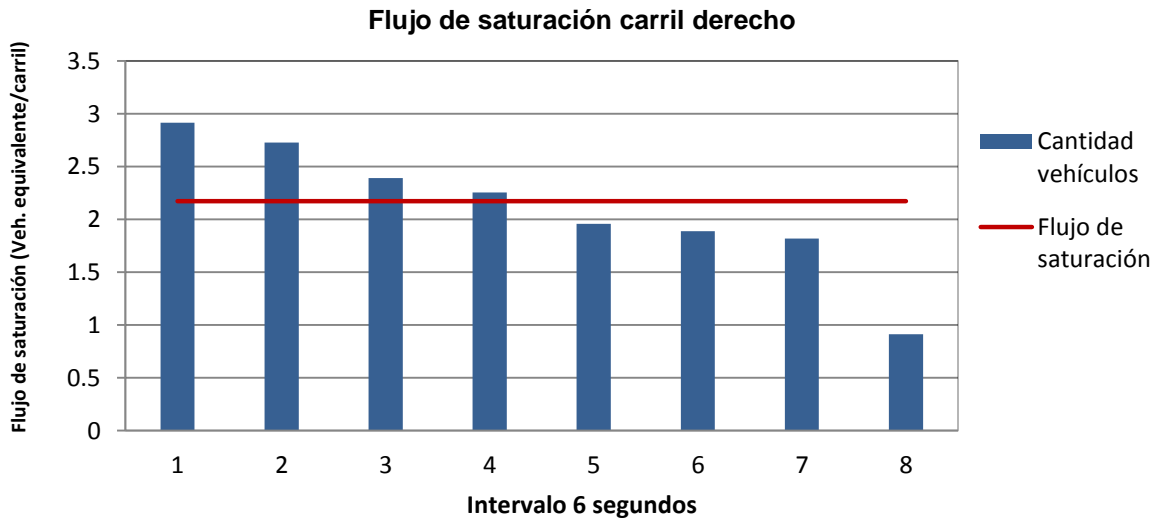
Gráfica 14. Flujo de saturación carril izquierdo, Calle 100 Carrera 53.



Fuente: Elaboración propia.

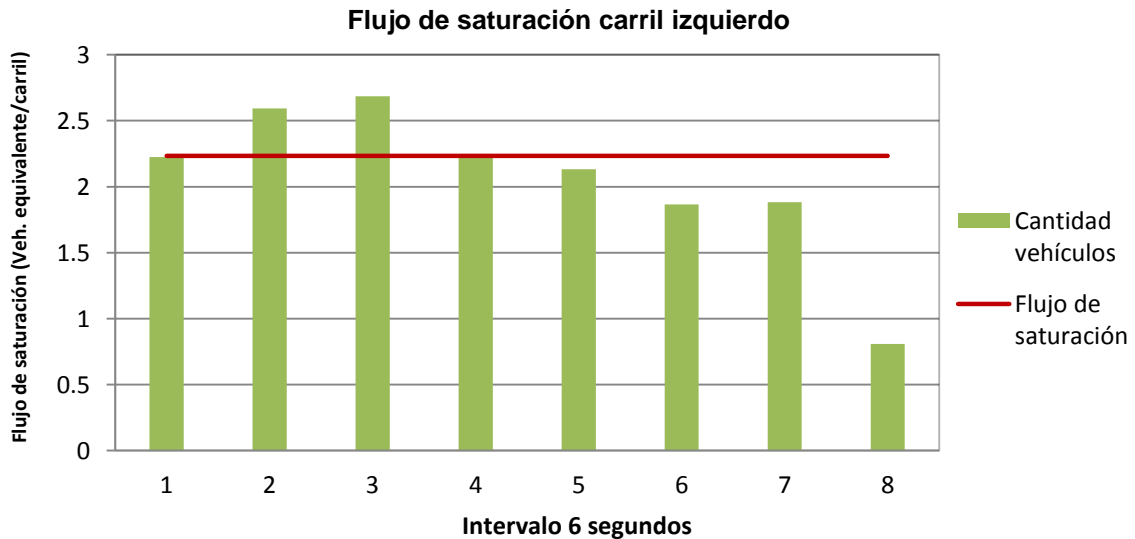
La Gráfica 15. y la Gráfica 16., muestran el flujo de saturación por carril del acceso de la Calle 100 con Carrera 60 en el grupo 3, dónde se presenta un alza en el carril izquierdo en comparación con el carril derecho.

Gráfica 15. Flujo de saturación carril derecho, Calle 100 Carrera 60.



Fuente: Elaboración propia.

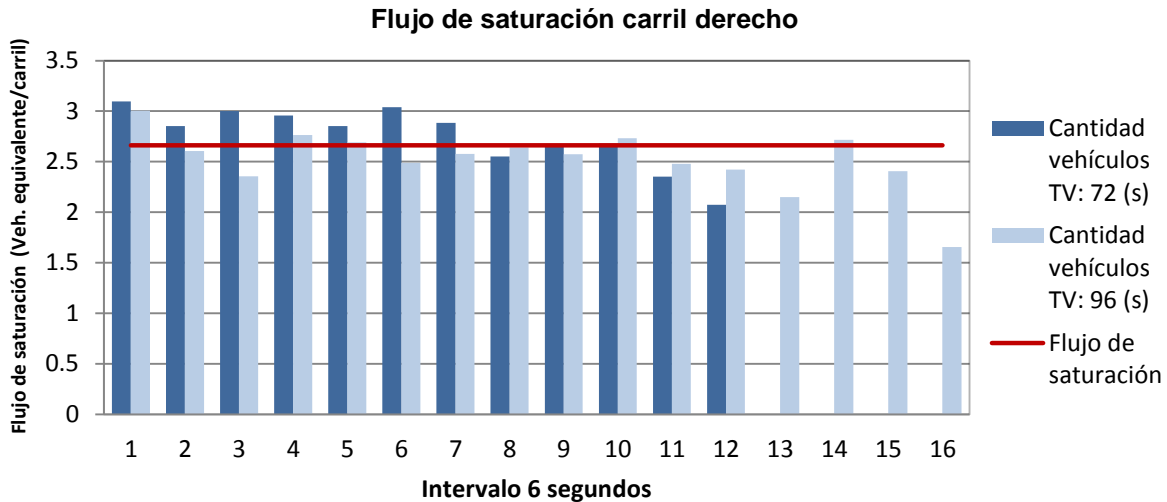
Gráfica 16. Flujo de saturación carril izquierdo, Calle 100 Carrera 60.



Fuente: Elaboración propia.

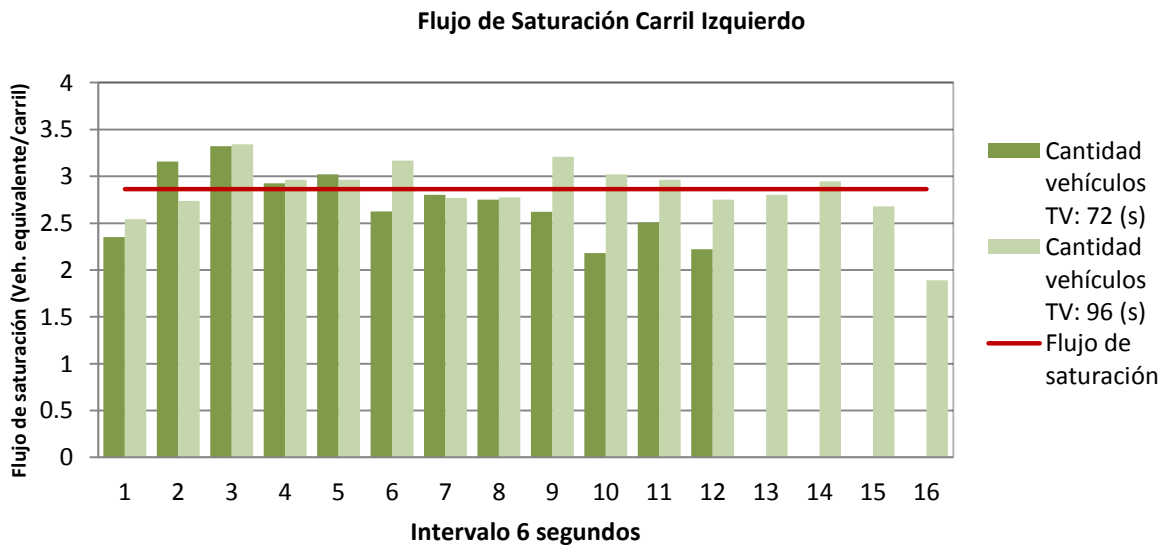
La Gráfica 17. y Gráfica 18., presenta el flujo de saturación por carril del acceso de la Avenida 68 con Calle 98, en el grupo 2, dónde se presenta la misma situación anterior: mayor flujo de saturación en el carril izquierdo en comparación con el carril derecho. Es de aclarar, que en este acceso se presentaron 2 tiempos de verde, para el período de estudio.

Gráfica 17. Flujo de saturación carril derecho, Avenida 68 Calle 98.



Fuente: Elaboración propia

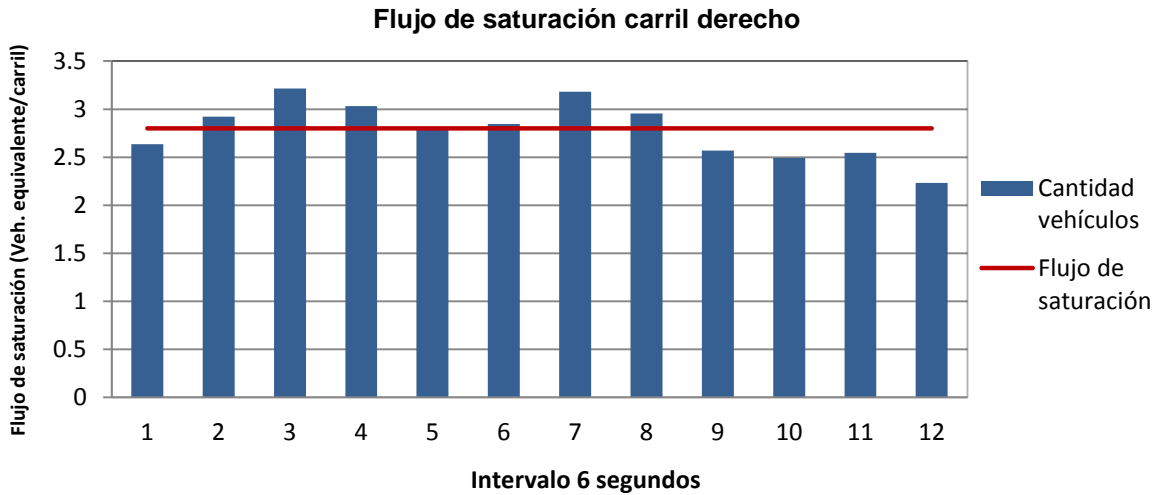
Gráfica 18. Flujo de saturación carril izquierdo, Avenida 68 Calle 98.



Fuente: Elaboración propia

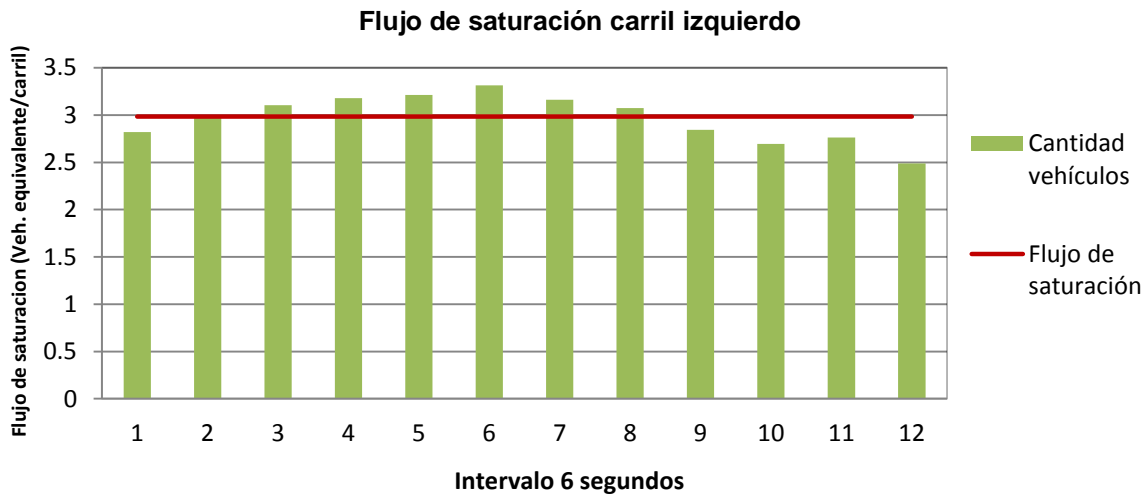
La Gráfica 19. y la Gráfica 20., presentan el flujo de saturación por carril del acceso de la Avenida 68 con Calle 23, en el grupo 1, dónde se muestra un alza en el carril izquierdo sobre el carril derecho.

Gráfica 19. Flujo de saturación carril derecho, Avenida 68 Calle 23.



Fuente: Elaboración propia

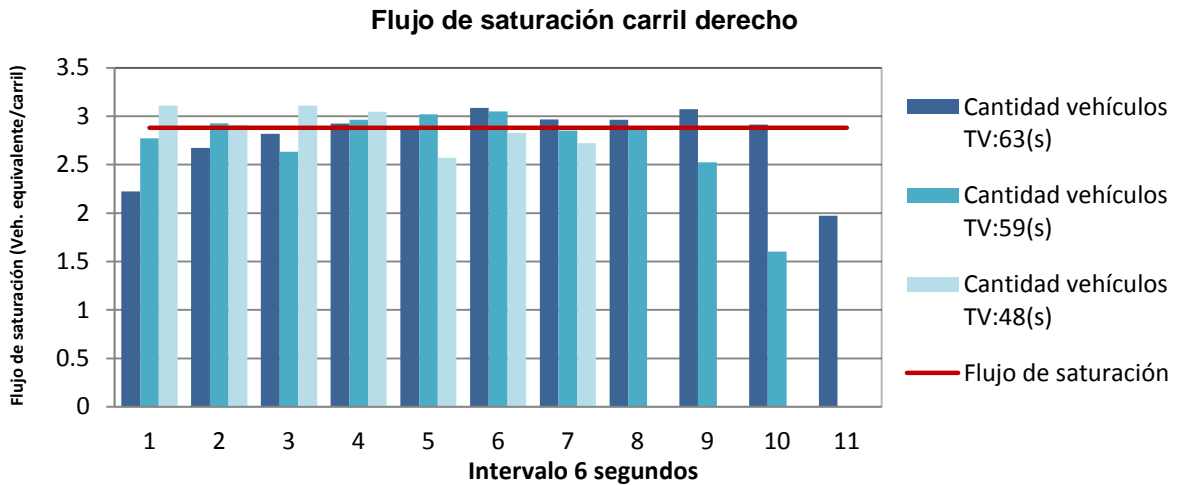
Gráfica 20. Flujo de saturación carril izquierdo, Avenida 68 Calle 23.



Fuente: Elaboración propia

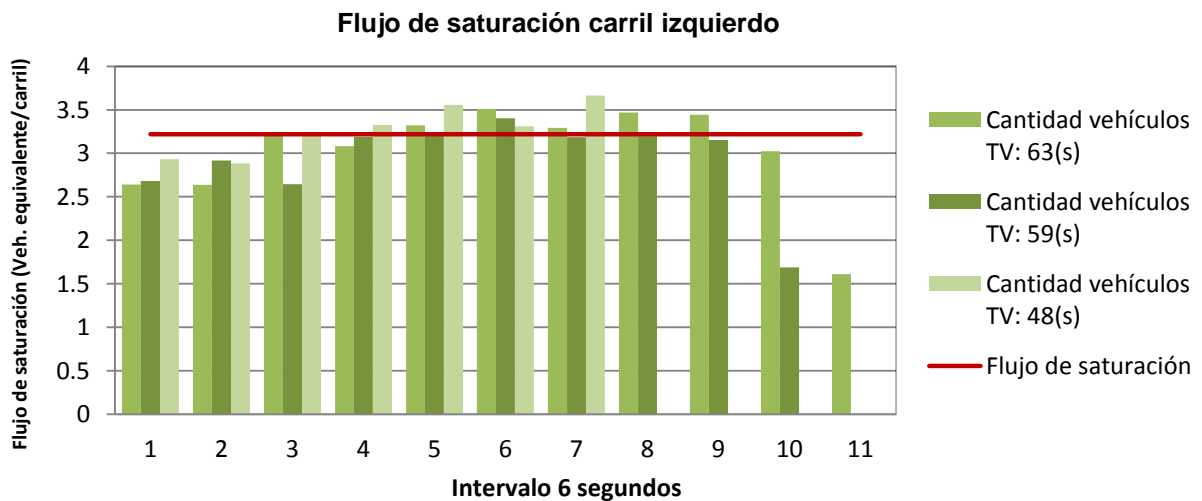
La Gráfica 21. y en la Gráfica 22., muestran el flujo de saturación por carril del acceso de la Carrera 7 con Calle 106, en el grupo 1, dónde se presenta la misma situación de los anteriores accesos; el flujo de saturación es mayor para el carril izquierdo respecto al carril derecho. Es de aclarar, que en este acceso se presentaron 3 tiempos de verde, para el período de estudio.

Gráfica 21. Flujo de saturación carril derecho, Carrera 7 Calle 106.



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 22. Flujo de saturación carril izquierda, Carrera 7 Calle 106.



Fuente: Elaboración propia

A partir de las gráficas presentadas anteriormente, se calcularon los flujos de saturación por carril en veh./hora/carril, y se consignaron en la Tabla 22.

Tabla 22. Flujos de saturación por carril en veh./hora/carril.

FLUJO DE SATURACIÓN POR CARRIL		
Acceso	Carril	Flujo de saturación medido (veh/hora/carril)
CII 100 x Cr 49 (G- 3)	Derecho	1633
	Izquierdo	1721
CII 100 x Cr 53 (G- 4)	Derecho	1633
	Izquierdo	1472
CII 100 x Av Suba (G- 3)	Derecho	1304
	Izquierdo	1340
Av 68 x CII 98 (G- 2)	Derecho	1597
	Izquierdo	1712
Av 68 x CII 23 (G- 1)	Derecho	1680
	Izquierdo	1791
Cr 7 x CII 106 (G- 1)	Derecho	1728
	Izquierdo	1932

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Flujos de saturación por acceso. Posterior al cálculo del flujo de saturación por carriles, se determinaron los flujos de saturación por acceso. Esta información se resume en la Tabla 23., presentada a continuación.

Tabla 23. Flujos de saturación por acceso veh./hora/acceso.

FLUJO DE SATURACIÓN POR ACCESO		
Acceso	No. Carriles	Flujo de saturación medido (veh/hora/acceso)
CII 100 x Cr 49 (G- 3)	2	3354
CII 100 x Cr 53 (G- 4)	2	3105
CII 100 x Av Suba (G- 3)	2	2644
Av 68 x CII 98 (G- 2)	2	3309
Av 68 x CII 23 (G- 1)	2	3471
Cr 7 x CII 106 (G- 1)	2	3660

Fuente: Elaboración propia

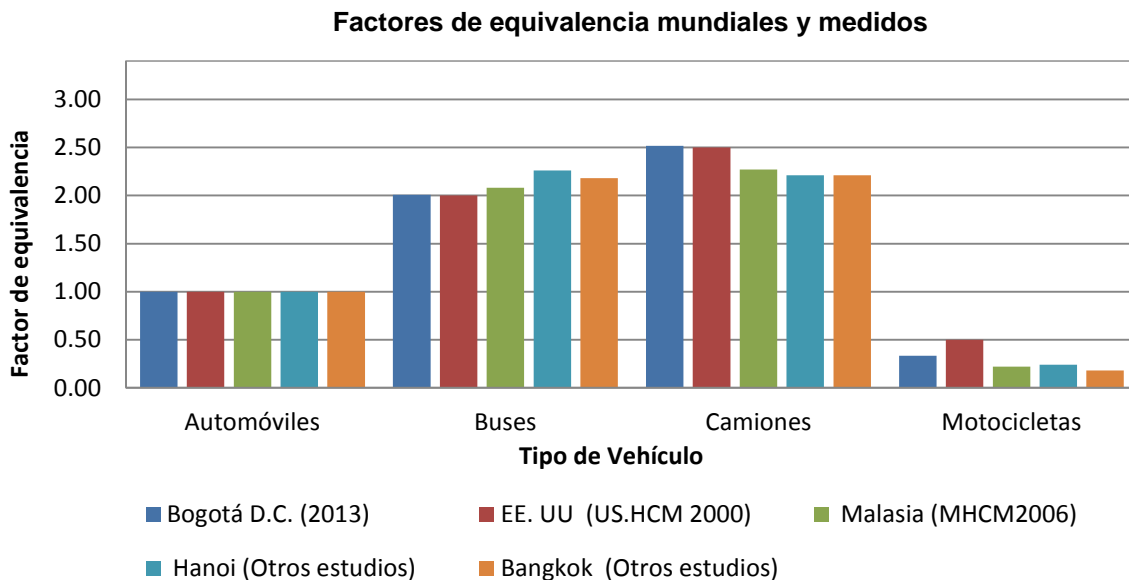
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se determinaron los análisis correspondientes para definir la influencia por la presencia de motocicletas en la capacidad vial de accesos semaforizados. Este capítulo está compuesto de gráficas y tablas que resumen la información consignada en los resultados, de donde se extraerá la información más relevante para estimar la influencia por la presencia de motocicletas. Todos los accesos se hicieron por acceso y por carril.

6.1. COMPARACIÓN DE FACTORES DE EQUIVALENCIA A NIVEL MUNDIAL

A partir del cálculo del factor de equivalencia de automóviles, buses, camiones y motocicletas, para este estudio (ver Tabla 18); se realizó una comparación entre los factores de equivalencia propuestos por el HCM de Estados Unidos, Malasia, Indonesia, y otros estudios realizados en ciudades capitales como Hanoi y Bangkok, respecto a los factores medidos en este estudio para la ciudad de Bogotá D.C. (ver Gráfica 23).

Gráfica 23. Comparación de factores de equivalencia mundiales y medidos.



Fuente: Elaboración propia

Como resultado de esta comparación, se obtuvieron diferencias promedio de 6,10% y 8,78% para buses y camiones respectivamente. En cuanto al factor equivalente de motocicletas, se observan variaciones significativas con los demás factores del mismo tipo; para la relación con el factor sugerido por el U.S. HCM, se observa una diferencia de 48,97%, debido a los cilindrajes de motocicletas presentes en ciudades americanas, ya que estos son mayores a los utilizados en ciudades colombianas como Bogotá D.C., que según el RUNT²⁴ son inferiores a 180 centímetros cúbicos.

Por otra parte para los factores de motocicletas de ciudades capitales como Hanoi y Bangkok, en Asia, se utilizan valores inferiores al obtenido para este estudio. Lo anterior se debe a los altos porcentajes de motocicletas, que varían entre 30% y 50% y al frecuente comportamiento de estas para posicionarse entre vehículos, ocasionando intervalos de paso menores a los obtenidos y utilizados para el cálculo del factor equivalente.

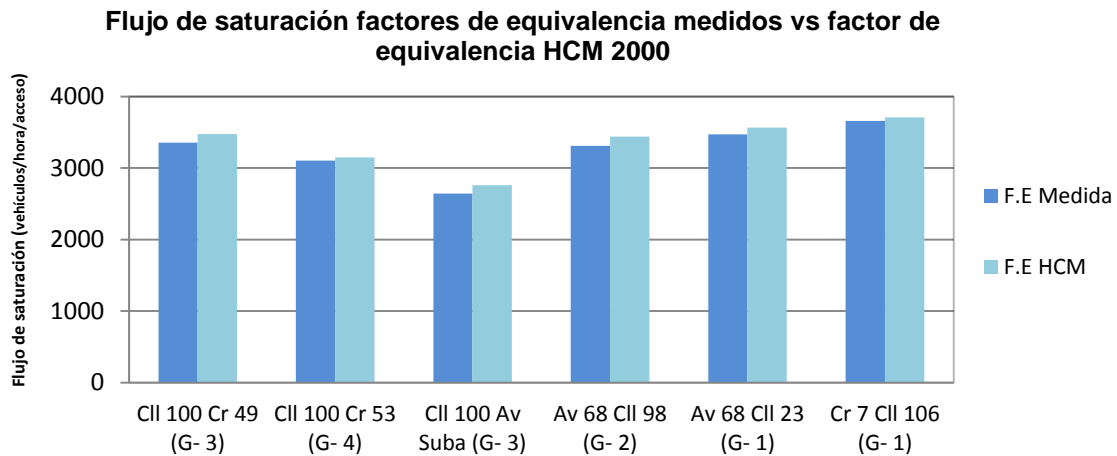
6.2. COMPARACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN CON FACTOR EQUIVALENTE MEDIDO Y FACTOR EQUIVALENTE HCM 2000.

Se calcularon los flujos de saturación por acceso, teniendo en cuenta tanto los factores medidos mediante la captura automática de datos, como los planteados en el HCM 2000.

Una vez calculados los flujos de saturación tanto con factores equivalentes medidos, como tomados del HCM 2000, se compararon mediante la Gráfica 24. Al observar esta comparación, es evidente el aumento de flujo de saturación para todos los accesos de estudio, con los factores planteados por el HCM 2000 con un porcentaje promedio de 2,8%.

²⁴ Redacción La patria. Interés en las motos mueve concesionarios [online]. En: La Patria. Bogotá D.C., 2012. Disponible en Internet en: <http://www.lapatria.com/negocios/interes-en-las-motos-mueve-los-concesionarios-30532>.

Gráfica 24. Relación del flujo de saturación con factor equivalente medido y flujo de saturación con factor equivalente HCM 2000.



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el mayor porcentaje de diferencia entre los dos flujos de saturación relacionados, pertenece al acceso de la Calle 100 con Avenida Suba, con un 4,8%, lo cual es consecuente con el porcentaje de motocicletas que este presenta; ya que también es el mayor de todos los 6 accesos de estudio. De la misma forma, el menor porcentaje de diferencia entre los flujos de saturación analizados, pertenece al acceso de la Carrera 7 con Calle 106, con un 1,3%, que igualmente presenta el porcentaje más bajo de motocicletas en los accesos de estudio.

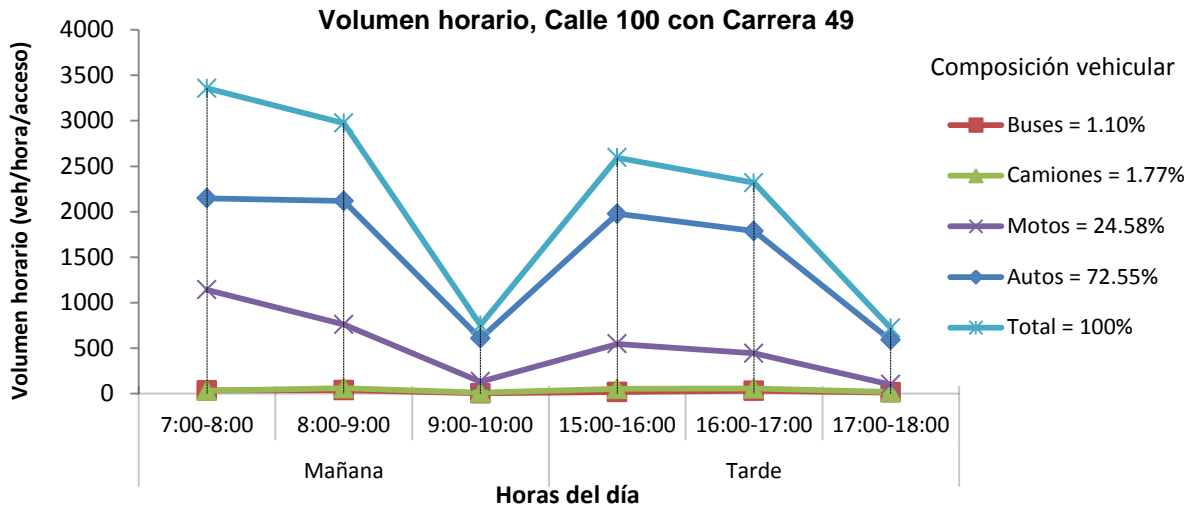
Lo anterior indica, que es correcto determinar los factores de equivalencia para calles bogotanas, ya que al utilizar los datos americanos propuestos por el HCM 2000, se obtendrían valores sobreestimados.

6.3. VARIACIÓN HORARIA DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO.

Para la variación horaria de tránsito en los accesos semaforizados estudiados, se tuvieron en cuenta el período de la mañana de 7:00 am a 10:00 am y el período de la tarde de 15:00 pm a 18:00 pm, dando como resultado una variación que no resulta típica en todos los accesos, es decir que el comportamiento de los volúmenes vehiculares no es igual. Por lo tanto, se decidió observar con detenimiento los volúmenes horarios de cada acceso, comparando los volúmenes horarios de la mañana y la tarde.

En el acceso de la Calle 100 con Carrera 49, se presentaron volúmenes horarios mayores en el período de la mañana, específicamente de 7:00 am a 8:00 am, con porcentajes altos de vehículos livianos y motocicletas.

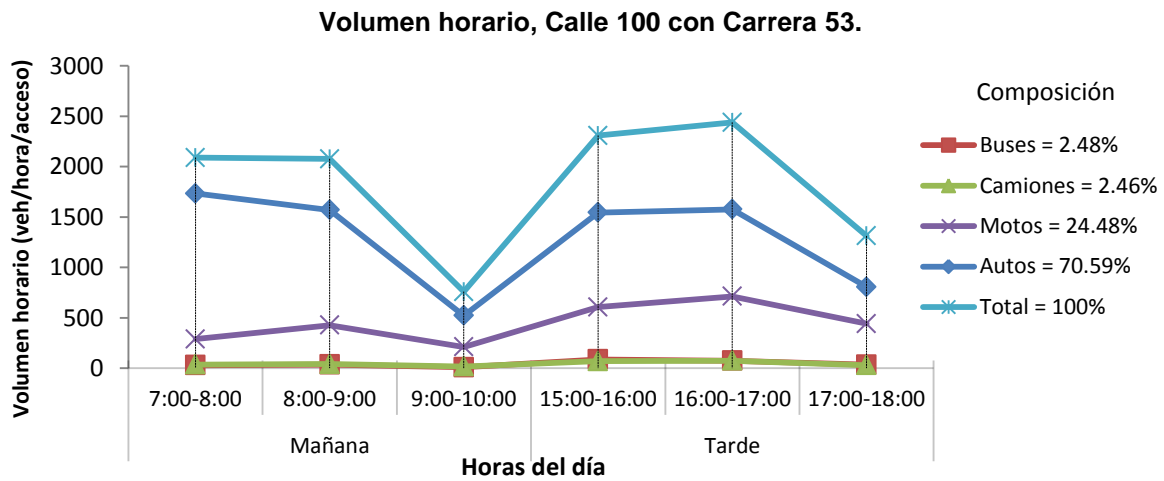
Gráfica 25. Volumen horario, Calle 100 con Carrera 49.



Fuente: Elaboración propia

En el acceso de la Calle 100 con Carrera 53, se presentaron volúmenes horarios mayores en el período de la tarde, específicamente de 16:00 pm a 17:00 pm, teniendo en cuenta un aumento significativo de las motocicletas en el período de la tarde con respecto al de la mañana.

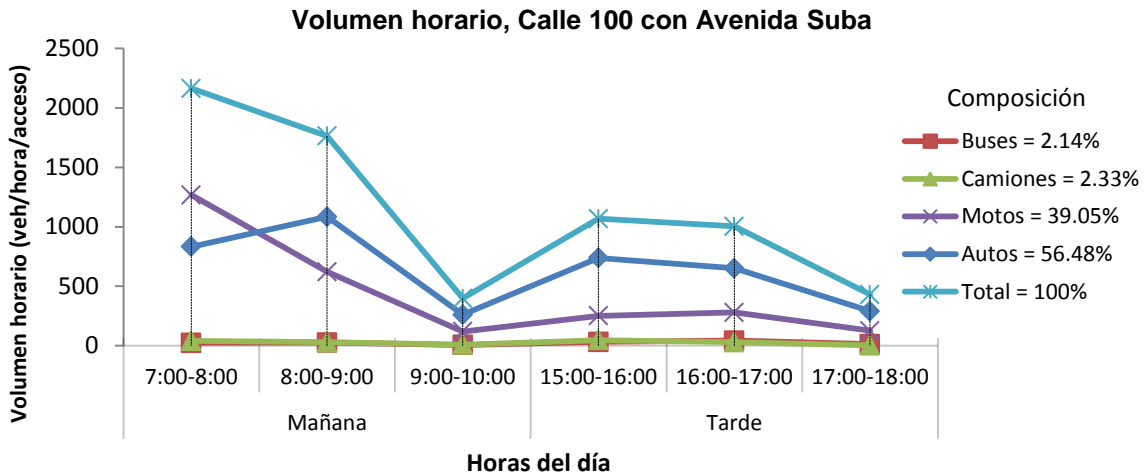
Gráfica 26. Volumen horario, Calle 100 con Carrera 53.



Fuente: Elaboración propia

En el acceso de la Calle 100 con Avenida Suba, se presentaron volúmenes horarios mayores en el período de la mañana específicamente de 7:00 am a 8:00 am, además, presenta una disminución de todos los tipos de vehículos en el período de la tarde. Este a diferencia de los otros accesos presenta volúmenes de motocicletas mayores a los vehículos livianos en horas de la mañana.

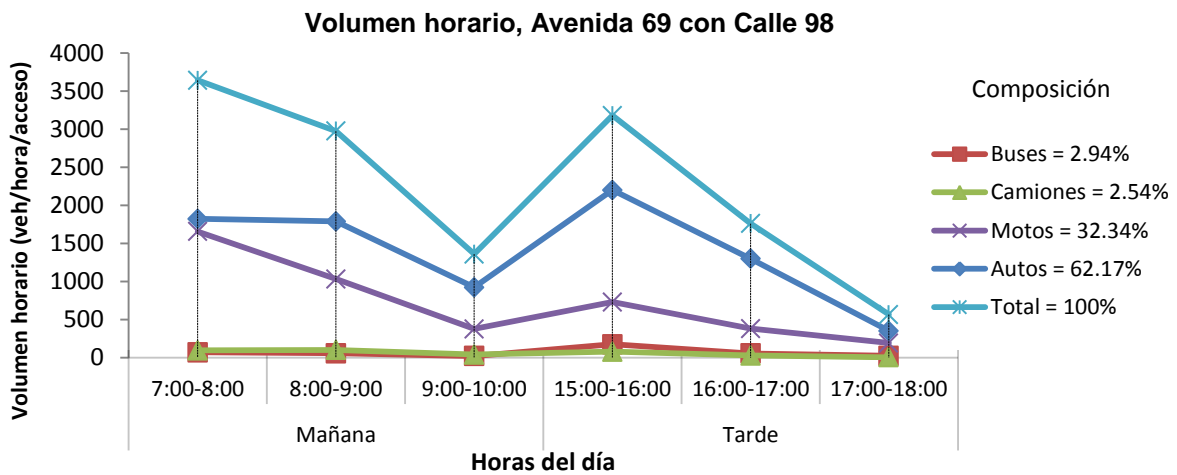
Gráfica 27. Volumen horario, Calle 100 con Avenida Suba.



Fuente: Elaboración propia

Respecto al acceso de la Avenida 68 con Calle 98, se presentó un volumen horario total mayor en el período de la mañana, teniendo en cuenta un volumen de motocicletas considerable en este período.

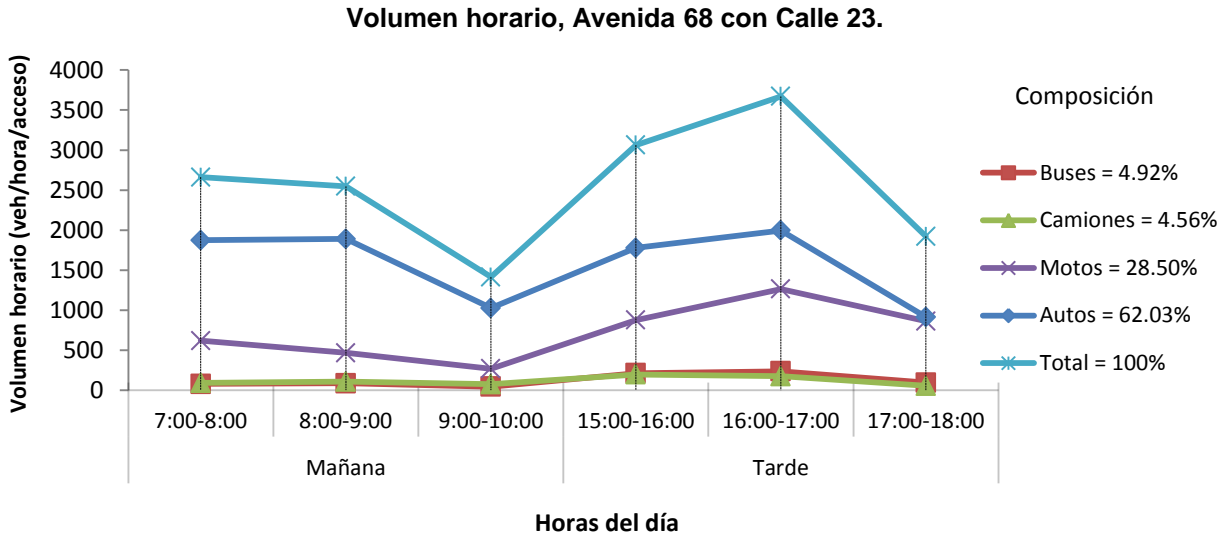
Gráfica 28. Volumen horario, Avenida 68 con Calle 98.



Fuente: Elaboración propia

En el acceso de la Avenida 68 con Calle 23, se obtuvieron volúmenes horarios mayores en el período de la tarde específicamente de 16:00 pm a 17:00 pm al igual que en el acceso de la Calle 100 con Carrera 53, presentando el mismo comportamiento de las motocicletas en el período de la tarde.

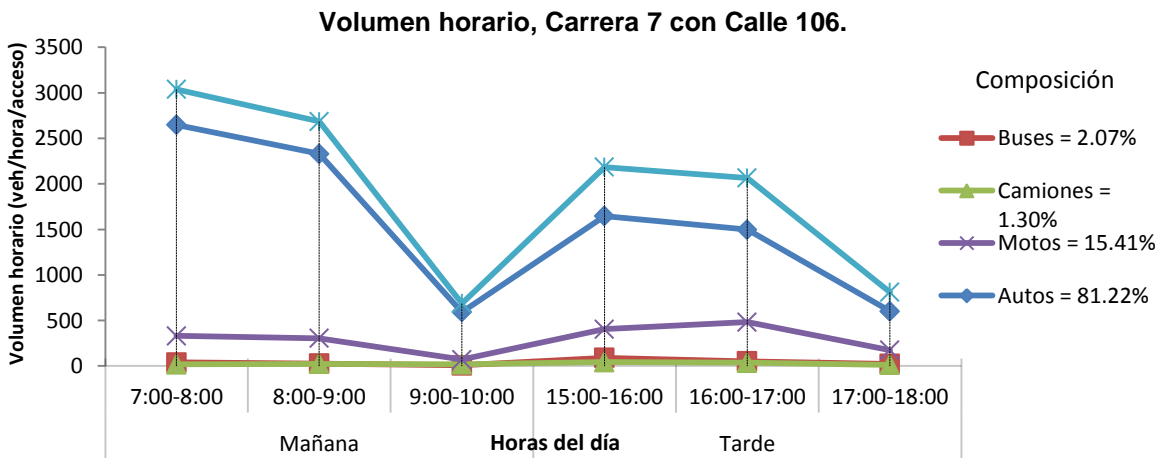
Gráfica 29. Volumen horario, Avenida 68 con Calle 23.



Fuente: Elaboración propia

El acceso de la Calle 106 con Carrera 7, presenta un máximo volumen horario en el período de la mañana de 7:00 am a 8:00 am y de 8:00 am a 9:00 am, siendo el primero el máximo volumen.

Gráfica 30. Volumen horario, Carrera 7 con Calle 106.



Fuente: Elaboración propia

A partir de los volúmenes horarios mostrados anteriormente, se obtuvo un comportamiento típico de manera general entre los accesos de la Calle 100 con Carrera 49, Calle 100 Avenida Suba, Avenida 68 con Calle 98 y la Carrera 7 con Calle 106 ; teniendo un mayor volumen de los vehículos livianos y la motocicleta con respecto al período de la tarde. Al contrario de los accesos de la Calle 100 con Carrera 53 y la Calle 100 con Carrera 23, presentando un volumen horario máximo en el período de la tarde de 16:00 pm a 17:00 pm.

Estas variaciones atípicas, se presentan debido a los usos del suelo de estos accesos semaforizados, ya que son de usos comerciales e industriales y no presentan un único comportamiento, en el que se pueda definir un período de máximos volúmenes horarios.

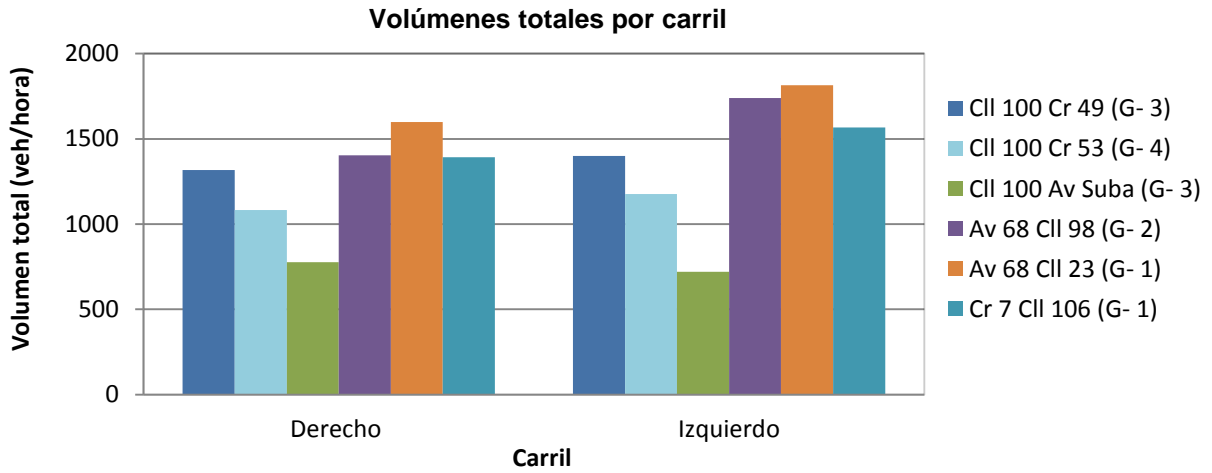
6.4. FLUJO DE SATURACIÓN Y VOLÚMENES VEHICULARES

A continuación se relacionan los flujos de saturación y los volúmenes vehiculares, con respecto al número de carriles presentados en los accesos semaforizados de estudio.

6.4.1 Relación entre flujo de saturación y volúmenes vehiculares. Teniendo en cuenta los flujos de saturación por carril, estos se relacionaron con el comportamiento vehicular presentado en los accesos semaforizados como muestra la Gráfica 31 y Gráfica 32.

Para los volúmenes totales, se utilizaron los volúmenes de hora de máxima demanda para cada uno de los accesos, teniendo en cuenta el máximo valor entre los dos períodos aforados, según el carril. Cabe resaltar que la hora más cargada para el acceso de la Calle 100 con Carrera 49 se presentó de 7:00 a 8:00; para la Calle 100 con Carrera 53 de 16:00 a 17:00; para la Calle 100 con Avenida Suba de 7:00 a 8:00; para la Carrera 68 con Calle 98 de 7:00 a 8:00 ; para la Carrera 68 con Calle 23 de 16:00 a 17:00 y para la Carrera 7 con Calle 106 de 7:00 a 8:00.

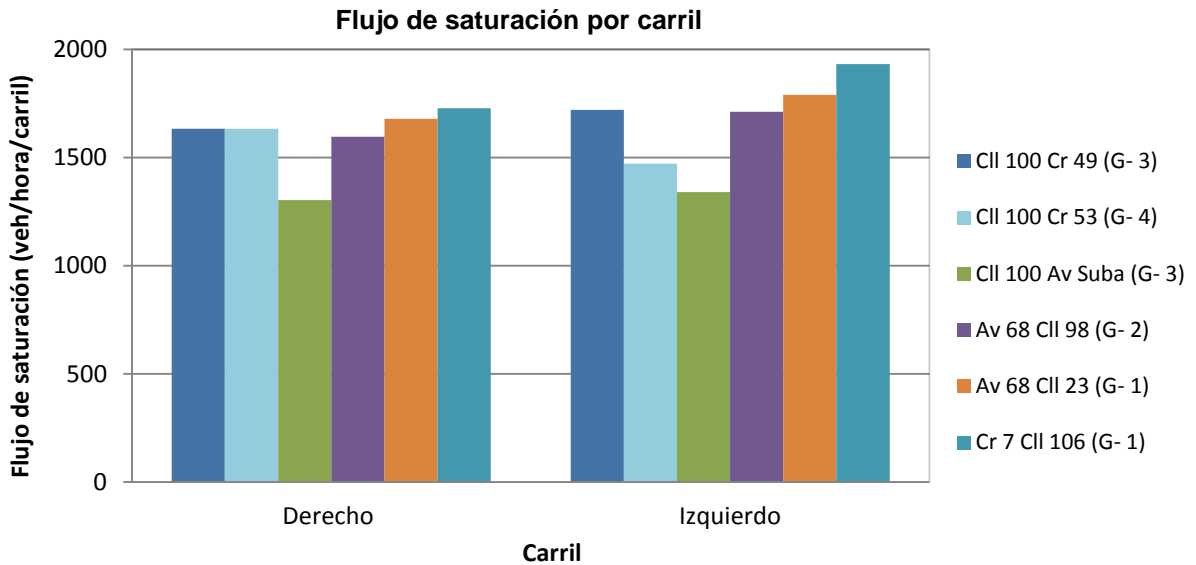
Gráfica 31. Volúmenes totales (2 Carriles).



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que el presente estudio se realizó en accesos de dos carriles, se observó un mayor volumen y flujo de saturación en el carril izquierdo. Además se determinó una afectación importante en el flujo de saturación debido a que en el carril derecho se presentan mayores porcentajes de motocicletas.

Gráfica 32. Flujos de saturación por carril (2 Carriles).



Fuente: Elaboración propia

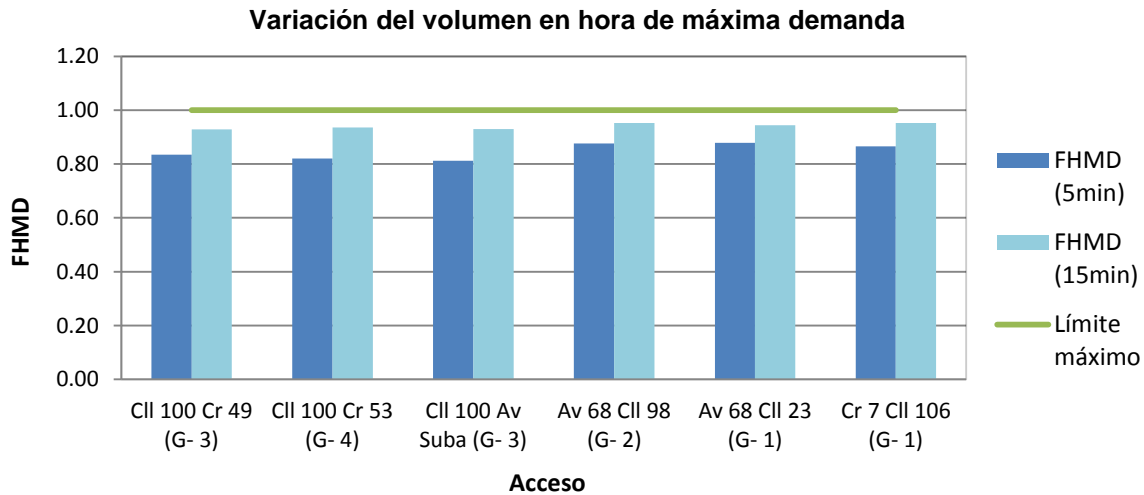
6.4.2. Variación del volumen en hora de máxima demanda por acceso.

Teniendo en cuenta los volúmenes de máxima demanda obtenidos para cada acceso, se calcularon los factores de hora de máxima demanda para los períodos de 5 minutos y 15 minutos, con el fin de conocer más características del flujo de tránsito en períodos máximos.

En la Gráfica 33, se puede observar, una distribución uniforme de flujos máximos durante toda la hora, como lo indican los factores de hora de máxima demanda para todos los accesos semaforizados, ya que estos valores están muy cercanos a 1.00.

Adicionalmente, se presenta una frecuencia de paso de los vehículos en períodos cortos para todos los accesos semaforizados mucho más alta, teniendo en cuenta que los factores de 15 minutos son mayores que los de 5 minutos, presentando así, posibles problemas de congestión.

Gráfica 33. Variación del volumen en hora de máxima demanda por acceso.



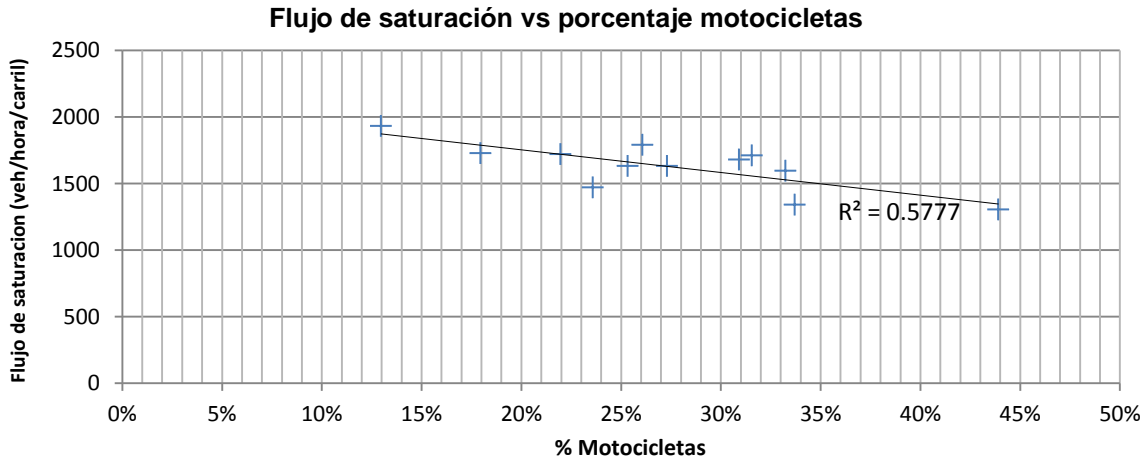
Fuente: Elaboración propia

6.5. RELACIÓN ENTRE EL FLUJO DE SATURACIÓN Y PORCENTAJE DE MOTOCICLETAS

6.5.1. Relación entre el flujo de saturación y el porcentaje de motocicletas por carril. Una vez obtenidos los flujos de saturación por carril, mostrados en la Tabla 23, y los porcentajes de motocicletas correspondientes; estos se relacionaron como muestra la Gráfica 34, con el fin de evaluar el coeficiente de determinación entre las dos variables.

La Gráfica 34., muestra una disminución en el flujo de saturación a medida que se presentan mayores porcentajes de motocicletas, lo cual evidencia una afectación importante, que requiere un análisis más profundo. El coeficiente de determinación es de 0,5777, indicando una relación aceptable entre las dos variables.

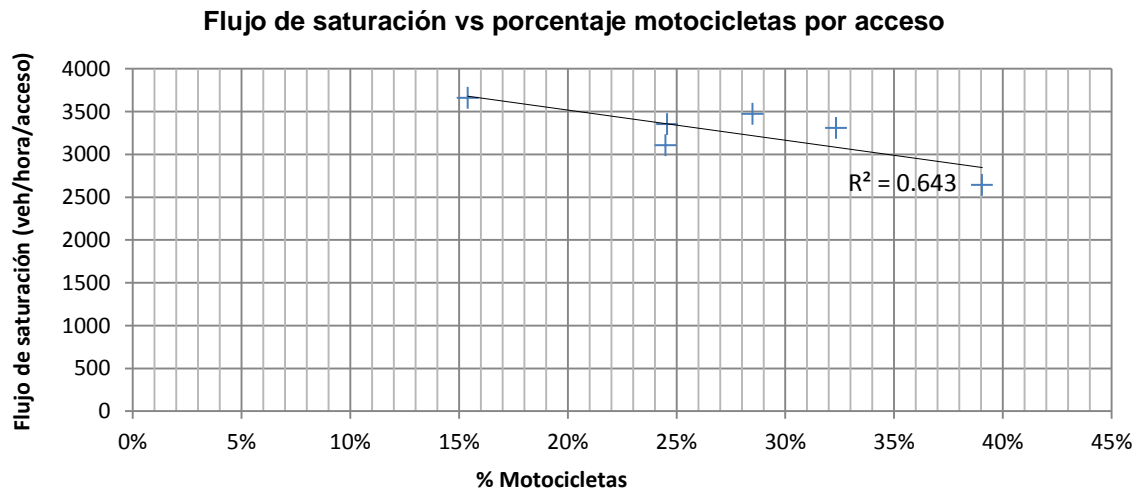
Gráfica 34. Flujo de saturación vs porcentaje de motocicletas por carril.



Fuente: Elaboración propia.

6.5.2. Relación entre el flujo de saturación y el porcentaje de motocicletas por acceso. De igual manera se determinó la relación entre el flujo de saturación y el porcentaje de motocicletas por acceso, graficando las dos variables, como se muestra en la Gráfica 35.

Gráfica 35. Flujo de saturación vs porcentaje de motos por acceso.



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo en la Gráfica 35., una mejoría en cuanto al coeficiente de correlación de 0,643, en comparación al análisis por carriles de la Gráfica 34. De la misma manera se observa una disminución en el flujo de saturación a medida que se presentan mayores porcentajes de motocicletas, observando que para un porcentaje del 40% de motocicletas la capacidad se disminuye en un 30%. A partir de lo anterior se decidió realizar un estudio más profundo sobre la relación de flujo de saturación y presencia de motocicletas, ya que es claro que existen relaciones directas.

6.6. ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE AJUSTE F_m

Con el propósito de estimar los factores de ajuste por presencia de motocicletas en relación con los volúmenes de estos vehículos, se determinaron correlaciones, comparaciones y tablas entre valores teóricos y teóricos ajustados para asegurar la viabilidad del uso del factor F_m .

6.6.1. Flujo de saturación por factores de ajuste. El Manual de Planeación y Diseño para Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C., plantea el método de cálculo para el flujo de saturación mediante factores de ajuste, para determinar dicho flujo de saturación, este sugiere valores para cada parámetro, dependiendo de las características del acceso. La Tabla 24, muestra los factores de ajuste de los seis (6) accesos, estimados a partir de las tablas de calibración y ajuste del Manual.

Tabla 24. Factores de ajuste por acceso.

FACTORES DE AJUSTE							
Acceso	No. Carril	Carril (f_w)	Factor pesados (f_{HV})	Factor pendiente (f_G)	Factor área (f_a)	Factor giro izquierdo (f_{LT})	Factor giro derecho (f_{RT})
Cll 100 x Cr 49	2	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Cll 100 x Cr 53	2	0,997	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000
Cll 100 x Av Suba	2	0,994	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000
Av 68 x Cll 98	2	0,989	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000
Av 68 x Cll 23	2	0,996	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000
Cr 7 x Cll 106	2	0,994	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Fuente: Elaboración propia

Luego del cálculo de los factores de ajuste correspondientes a cada acceso semaforizado, se determinó el flujo de saturación teórico afectado por estos parámetros, de acuerdo a las condiciones prevalecientes, ver Tabla 25.

Tabla 25. Cálculo de flujos de saturación teórica.

FLUJO DE SATURACIÓN TEÓRICA	
Acceso	Saturación teórica (veh/hora/acceso)
Calle 100 x Carrera 49	3873
Calle 100 x Carrera 53	3878
Calle 100 x Avenida Suba	3868
Avenida 68 x Calle 98	3846
Avenida 68 x Calle 23	3870
Carrera 7 x Calle 106	3869

Fuente: Elaboración propia

Se determinó el flujo de saturación para cada acceso de estudio. Observando el mayor flujo de saturación teórico, correspondiente al acceso de la calle 100 con Carrera 53 y en reciprocidad, el menor flujo de saturación al perteneciente a la Avenida 68 con Calle 98. A partir de estos flujos de saturación teóricos, se procede a analizar la relación que tienen con los flujos de saturación medidos en campo.

La relación entre los flujos de saturación medidos en campo y los flujos de saturación teóricos obtenidos según la metodología descrita por el Manual de Planeación y Diseño para Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C., determina un coeficiente de correlación de 0.0055, lo cual indica una relación nula entre las dos variables.

6.6.2. Flujo de saturación ajustado por F_m . Una vez procesada toda la información de tránsito, referente específicamente a volúmenes de motocicletas y flujo de saturación para los 6 accesos de estudio, se relacionaron estas dos variables, con el propósito de determinar un grupo de factores de ajuste F_m , que representan la reducción en el flujo de saturación, por causa de la presencia de las motocicletas.

Dado que los porcentajes de motocicletas obtenidos en campo por acceso, están en un rango del 15% al 40%, se necesitó un valor de flujo de saturación base, por

tanto se utilizó la saturación sugerida por el Manual de Planeación y Diseño para Administración del Tránsito y Transporte, con un valor de 1946 veh/hora/carril para la ciudad de Bogotá D.C., y un intervalo de confianza del 90%, el cual garantiza condiciones ideales y por consiguiente supone un 0% de motocicletas.

En consecuencia, se relacionan todos los flujos de saturación con este valor de referencia con el propósito de determinar una serie de factores de ajuste preliminares correspondientes a los porcentajes de motocicletas de cada acceso semaforizado. El resultado de este proceso se muestra en la Tabla 26.

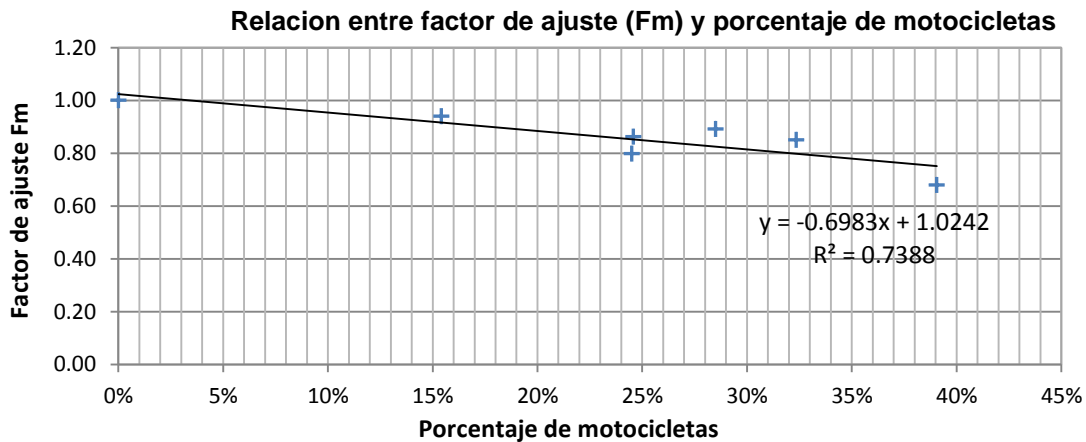
Tabla 26. Cálculo de los factores según flujo base.

FLUJO DE SATURACIÓN Y FACTORES DE AJUSTE			
Acceso	% Motocicletas	Saturación medida (veh/hora/acceso)	Factor (F_m)
Calle 100 x Carrera 49	24,58%	3354	0,862
Calle 100 x Carrera 53	24,50%	3105	0,798
Calle 100 x Avenida Suba	39,05%	2644	0,679
Avenida 68 x Calle 98	32,34%	3309	0,850
Avenida 68 x Calle 23	28,50%	3471	0,892
Carrera 7 x Calle 106	15,41%	3660	0,940

Fuente: Elaboración propia

A partir de los factores de ajuste F_m por presencia de motocicletas determinados para cada acceso en la Tabla 26, se graficaron, en relación con el correspondiente porcentaje de motocicletas, (ver Gráfica 36.).

Gráfica 36. Factor de ajuste F_m vs Porcentaje de motocicletas.



Fuente: Elaboración propia

La relación, muestra un coeficiente de determinación aceptable de 0.7388, sugiriendo relación entre las dos variables. De la misma manera se observa una disminución en el factor de ajuste por presencia de motocicletas a medida que se presentan mayores porcentajes de estos vehículos.

6.6.3. Estimación del factor de ajuste por presencia de motocicletas (F_m).

Una vez determinados los factores de ajuste para los seis (6) accesos de estudio se construyó una tabla que muestra los factores de ajuste por presencia de motocicletas para los porcentajes de 0% a 40%, puesto que entre estos rangos, se hizo valido el factor para el presente estudio; interpolando los factores ya calculados para los accesos de estudio (ver Tabla 26.); cabe resaltar que este factor de ajuste no tiene un comportamiento lineal, ya que a partir del 20% de motocicletas se evidencia una mayor influencia en la capacidad por la presencia de estas. El resultado de este proceso se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27. Factor de ajuste por presencia de motocicletas F_m .

FACTOR DE AJUSTE POR PRESENCIA DE MOTOCICLETAS (F_m)			
Porcentaje	F_m	Porcentaje	F_m
0%	1,000	21%	0,897
1%	0,996	22%	0,897
2%	0,992	23%	0,896
3%	0,988	24%	0,895
4%	0,985	25%	0,894
5%	0,981	26%	0,894
6%	0,977	27%	0,893
7%	0,973	28%	0,892
8%	0,969	29%	0,886
9%	0,965	30%	0,876
10%	0,961	31%	0,865
11%	0,957	32%	0,854
12%	0,954	33%	0,834
13%	0,950	34%	0,808
14%	0,946	35%	0,783
15%	0,942	36%	0,757
16%	0,931	37%	0,732
17%	0,915	38%	0,706
18%	0,900	39%	0,681
19%	0,899	40%	0,655
20%	0,898		

Fuente: Elaboración propia

Mediante la Tabla 27., ya consolidada, se determinó el flujo de saturación teórico obtenido mediante la ecuación del Manual de Planeación y Diseño para Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C., (ver Tabla 28) incluyendo el factor de ajuste por presencia de motocicletas correspondiente en el cálculo del flujo de saturación teórico, como lo indica la siguiente ecuación:

$$S = S_0 * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb} * f_m \quad [5]$$

Tabla 28. Cálculo del flujo de saturación ajustado por F_m .

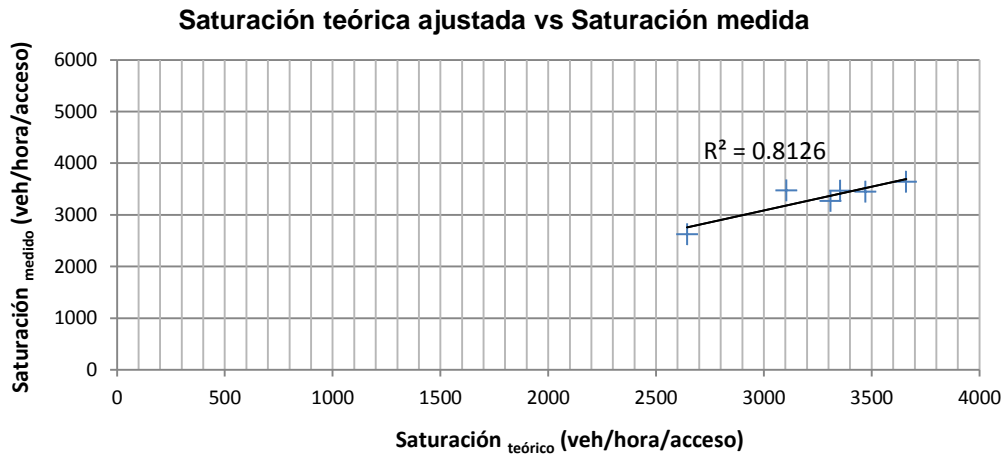
FLUJO DE SATURACIÓN INCLUYENDO FACTOR DE MOTOCICLETAS			
Acceso	Saturación medida (veh/hora/acceso)	Saturación teórica (veh/hora/acceso)	Saturación teórica ajustado por motocicletas (veh/hora/acceso)
Calle 100 x Carrera 49	3354	3873	3465
Calle 100 x Carrera 53	3105	3878	3470
Calle 100 x Avenida Suba	2644	3868	2627
Avenida 68 x Calle 98	3309	3846	3270
Avenida 68 x Calle 23	3471	3870	3451
Carrera 7 x Calle 106	3660	3869	3638

Fuente: Elaboración propia

A continuación se grafica la relación entre los flujos saturación teóricos ajustado con el factor por presencia de motocicletas F_m y los flujos de saturación medidos en campo.

Los flujos de saturación medidos en campo y los flujos de saturación teóricos ajustados con el factor por presencia de motocicletas F_m , (ver Gráfica 37), determina un coeficiente de correlación de 0.8126, lo cual indica que hay una relación más directa entre flujos de saturación teóricos ajustados (ver Tabla 28), en comparación con la relación mostrada para flujos de saturación teóricos sin ajustar (ver Tabla 25), con flujos de saturación medidos. Así entonces se puede observar un impacto importante en la saturación, por parte de la presencia de motocicletas. Cabe aclarar, que una correlación de este tipo se obtiene, a partir de la selección de accesos con factores de ajuste ideales en lo posible.

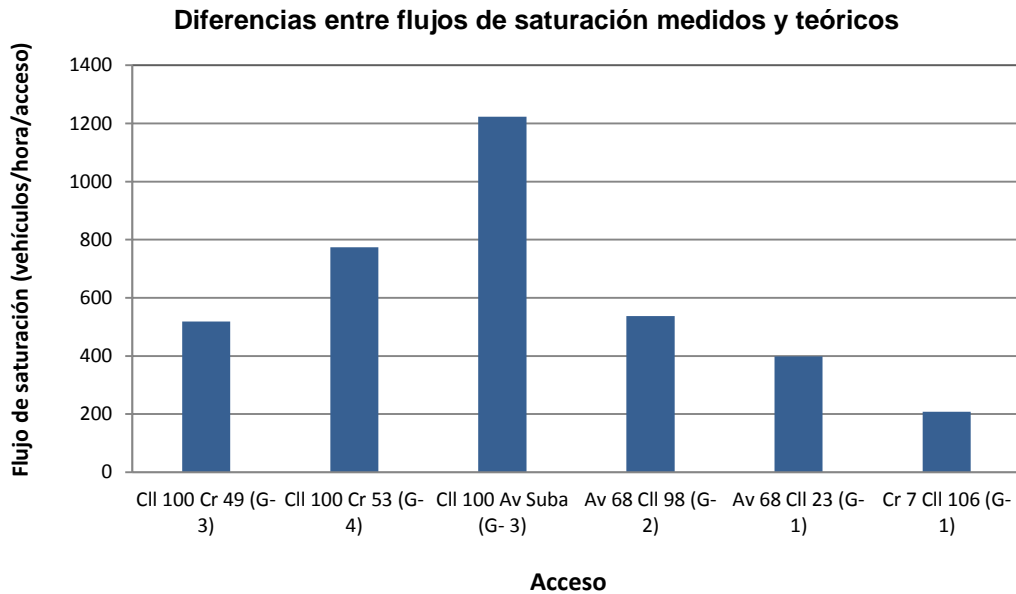
Gráfica 37. Relación entre flujo de saturación ajustado y el flujo de saturación medido.



Fuente: Elaboración propia

6.6.4. Diferencias entre flujo de saturación medidos y flujo de saturación teóricos. En complemento de los análisis anteriores, se determinaron las diferencias entre flujos de saturación medidos y flujos de saturación teóricos, para cada uno de los seis (6) accesos de estudio, como lo muestra la siguiente gráfica.

Gráfica 38. Diferencias entre flujos de saturación medidos y teóricos por acceso.



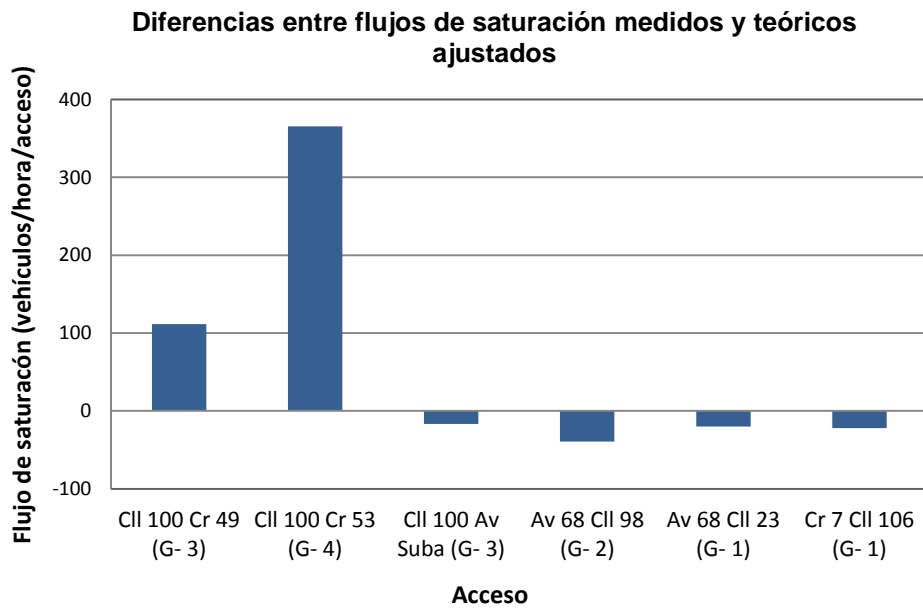
Fuente: Elaboración propia

Una vez calculados los flujos de saturación medidos en campo y los flujos de saturación teóricos, se compararon mediante la Gráfica 38, la cual muestra las diferencias para cada acceso con estos dos flujos de saturación. El resultado de esta comparación, presenta como el mayor porcentaje de diferencia entre los dos flujos de saturación relacionados, al acceso de la Calle 100 con Avenida Suba, con un 46,3%, lo cual es consecuente con el porcentaje de motocicletas que este presenta; ya que también es el mayor de todos los 6 accesos de estudio. De la misma forma, el menor porcentaje de diferencia entre los flujos de saturación analizados, pertenece al acceso de la Carrera 7 con Calle 106, con un 5,7%, que igualmente presenta el porcentaje más bajo de motocicletas en los accesos de estudio.

6.6.5. Diferencias entre flujos de saturación, medidos y teóricos ajustados.

De igual forma, se determinaron las diferencias entre flujos de saturación medidos y flujos de saturación teóricos ajustados con el factor de ajuste por presencia de motocicletas, para cada uno de los 6 accesos de estudio, como lo muestra la siguiente gráfica.

Gráfica 39. Diferencias entre flujos de saturación medidos y teóricos ajustados por acceso.



Fuente: Elaboración propia

Con los flujos de saturación medidos en campo y los flujos de saturación teóricos ajustados, se compararon mediante la Gráfica 39, la cual muestra las diferencias

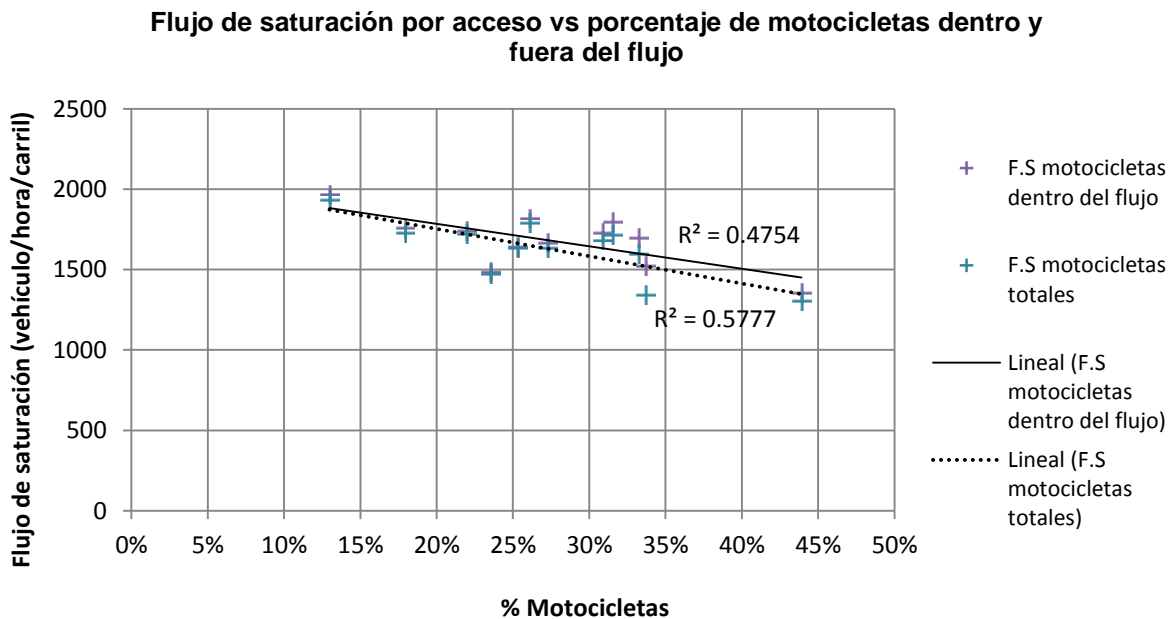
para cada acceso entre los dos flujos de saturación. El resultado de esta relación arroja, al acceso de la Calle 100 con Carrera 53, como el acceso con mayor porcentaje de diferencia entre los dos flujos de saturación, con un 11,8%.

6.7. RELACIÓN DE FLUJO DE SATURACIÓN CON MOTOCICLETAS DENTRO DE FLUJO Y TOTAL DE MOTOCICLETAS

Se compararon los flujos de saturación con motocicletas dentro de flujo y los flujos de saturación con el total de motocicletas, tanto para carril como para acceso, y para cada uno se determinó el coeficiente de determinación, con el propósito de estimar la relación entre las variables.

6.7.1. Relación de flujo de saturación con motocicletas dentro de flujo y total de motocicletas por carril. Ya que se tomaron en campo datos de motocicletas fuera del flujo y datos de motocicletas totales, se decidió hacer la relación entre estos dos conteos y el flujo de saturación. Así pues, se relacionaron, flujos de saturación con motocicletas dentro del flujo y flujos de saturación con motocicletas totales, como se muestra a continuación.

Gráfica 40. Relación entre flujo de saturación y porcentajes de motocicletas según posición por carril.



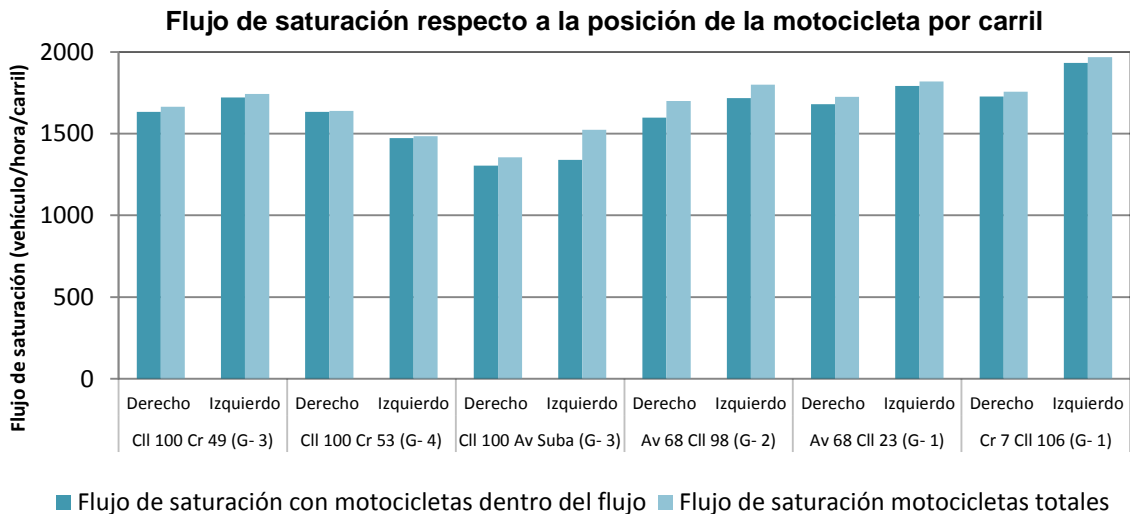
Fuente: Elaboración propia

La Gráfica 40., muestra la relación entre los flujos de saturación y el porcentaje de motocicletas que se encuentran dentro del flujo por carril, con un coeficiente de determinación de 0,4754; además se obtiene la relación entre flujos de saturación y porcentaje de motocicletas totales por carril (motocicletas dentro y fuera del flujo), con un coeficiente de determinación de 0,5777. Lo anterior, confirma una mejor correlación entre flujos de saturación y motocicletas totales para el análisis por carriles, por tanto es conveniente utilizar estas motocicletas para estudios de este tipo, no obstante para afirmar lo anterior se debe realizar el mismo análisis por acceso.

También es destacable, la disminución clara en el flujo de saturación a medida que se presentan mayores porcentajes de motocicletas; tanto dentro del flujo como totales.

Como complemento del anterior análisis, se calcularon los flujos de saturación con motocicletas dentro del flujo y con motocicletas totales por carril, como se muestra en la Gráfica 41. En esta gráfica se evidencia un aumento promedio del flujo de saturación con motocicletas totales del 3,45%, cabe aclarar que aunque este aumento es pequeño en comparación con el flujo de saturación con motocicletas dentro del flujo.

Gráfica 41. Relación entre el flujo de saturación y porcentajes de motocicletas según posición por acceso.

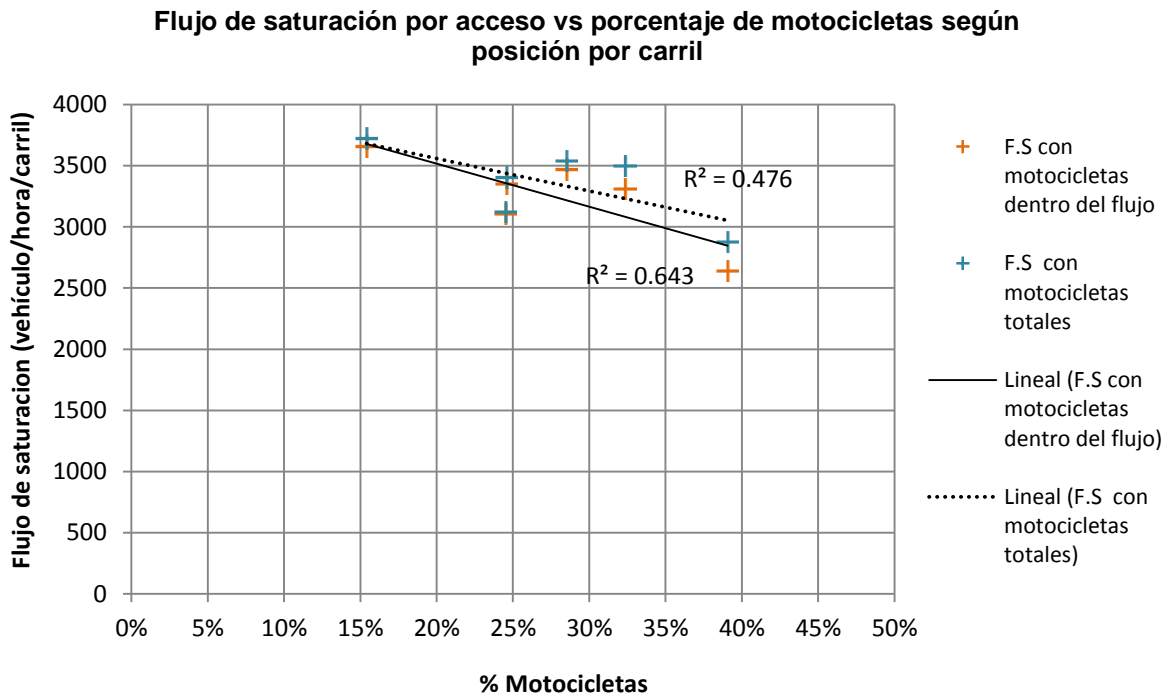


Fuente: Elaboración propia

6.7.2. Relación de flujo de saturación con motocicletas dentro de flujo y total de motocicletas por acceso. Ya que se tomaron en campo datos de motocicletas fuera del flujo y datos de motocicletas totales, se decidió relacionar estos dos conteos y el flujo de saturación por acceso. Así pues, se relacionaron, flujos de saturación con motocicletas dentro del flujo y flujos de saturación con motocicletas totales, como se muestra en la Gráfica 42.

La relación entre los flujos de saturación y motocicletas dentro del flujo por acceso, determina un coeficiente de correlación de 0,643, en cambio la relación entre flujos de saturación y motocicletas totales (motocicletas fuera y dentro del flujo vehicular) por acceso, determina un coeficiente de determinación de 0,476. Lo anterior, confirma una mejor correlación entre flujos de saturación y motocicletas dentro del flujo para el análisis por acceso, por tanto es conveniente utilizar estas motocicletas para estudios de este tipo.

Gráfica 42. Relación entre el flujo de saturación y porcentajes de motocicletas según posición por carril.



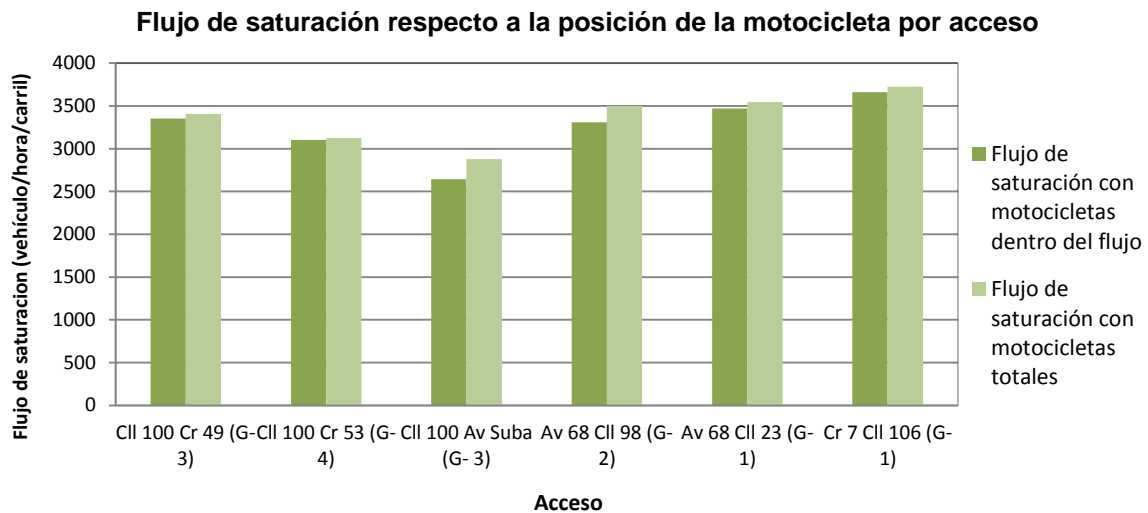
Fuente: Elaboración propia

Comparando el análisis de flujo de saturación con porcentajes de motocicletas dentro de flujo y el total de motocicletas por carril (ver Gráfica 40.), se determinan mejores correlaciones para el análisis por acceso. Por tanto se comprueba la

veracidad de los resultados de este estudio para el caso de flujo de saturación, corroborando por medio de las gráficas anteriores, que las motocicletas que se deben tener en cuenta para conteos de saturación son únicamente las que pasan dentro del flujo.

Como complemento del anterior análisis, se calcularon los flujos de saturación con motocicletas dentro del flujo y con motocicletas totales por acceso, como se muestra en la Gráfica 43. En esta gráfica se evidencia un aumento de flujo de saturación con motocicletas totales, para todos los accesos estudiados; representando un aumento promedio respecto al flujo de saturación con motocicletas dentro del flujo del 3,45%, que se debe tener en cuenta.

Gráfica 43. Relación entre el flujo de saturación vs porcentaje de motocicletas dentro de flujo y total de motocicletas por acceso.



Fuente: Elaboración propia

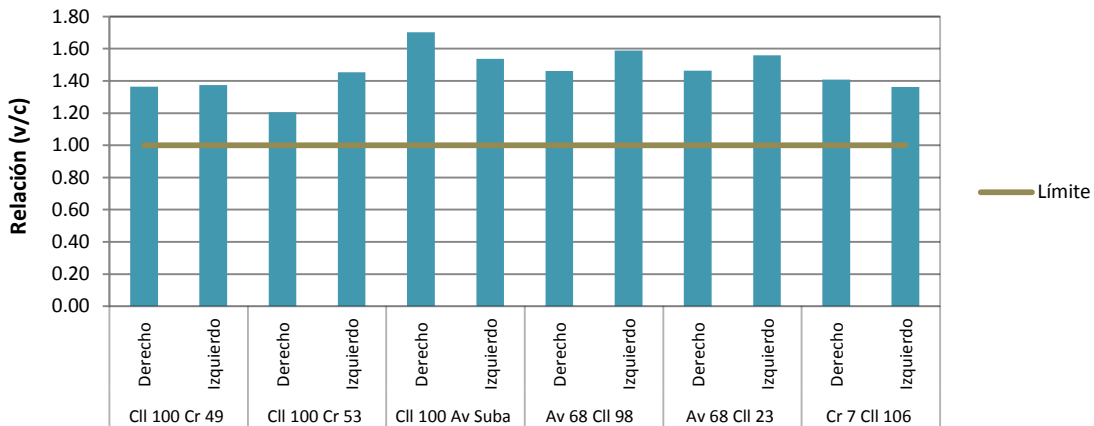
6.8. INFLUENCIA POR LA PRESENCIA DE MOTOCICLETAS EN LA CAPACIDAD VIAL DE ACCESO SEMAFORIZADOS.

Con base en los datos obtenidos de volumen de máxima demanda, se calculó la relación de volumen y capacidad, esto se hizo tanto por carril, como por acceso, con el fin de verificar que el comportamiento de la afectación de la capacidad vial, tenga la misma tendencia en todos los casos.

Teniendo en cuenta las relaciones obtenidas por carril, la mayor relación se encuentra en los accesos con mayor porcentaje de motocicletas como en el de la

Calle 100 con Avenida Suba con un 44% de motocicletas y el de la Avenida 68 con Calle 98 con un 32% de motocicletas, adicionalmente se puede observar que todos los accesos sobrepasan el límite, indicando un exceso de demanda sobre la capacidad. Con lo anterior se comprueba que el aumento en el grado de saturación está directamente relacionado con un alto porcentaje de motocicletas.

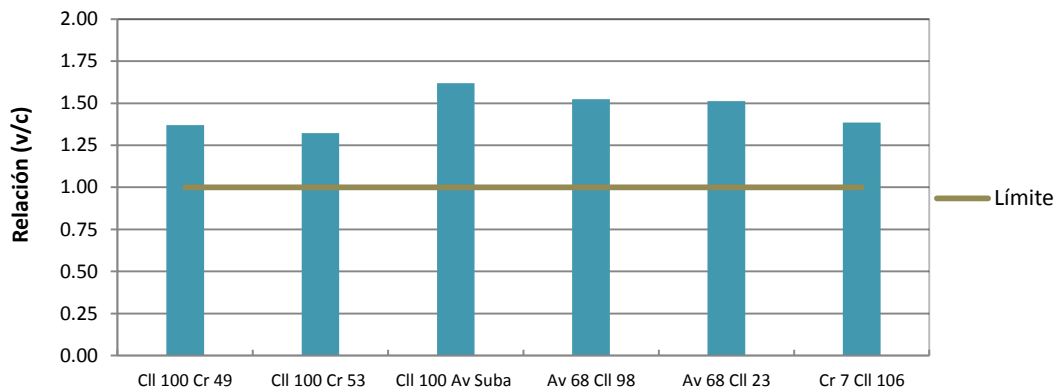
Gráfica 44. Relación volumen de máxima demanda – capacidad por carril.



Fuente: Elaboración propia

Para la relación entre volumen de máxima demanda y capacidad por acceso que se muestra en la Gráfica 45, se observa que la mayor relación se encuentra en el acceso con mayor porcentaje de motocicletas como es el de la Calle 100 con Avenida Suba con un 39% de motocicletas, de la misma forma que el análisis por carril.

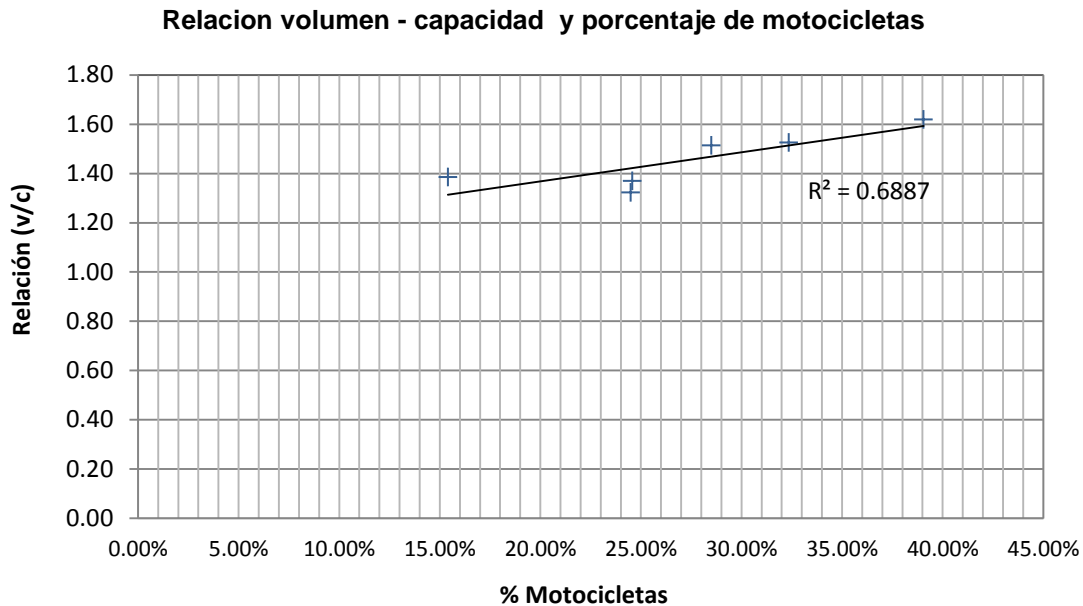
Gráfica 45. Relación volumen de máxima demanda – capacidad por acceso.



Fuente: Elaboración propia

A partir de la relación de volumen de máxima demanda por acceso, se obtuvo una correlación de determinación aceptables de 0.688 (ver Gráfica 46), observando que a medida que la relación volumen-capacidad aumenta, los porcentajes de motocicletas son mayores.

Gráfica 46. Relación volumen de máxima demanda – capacidad vs porcentaje de motocicletas por acceso.

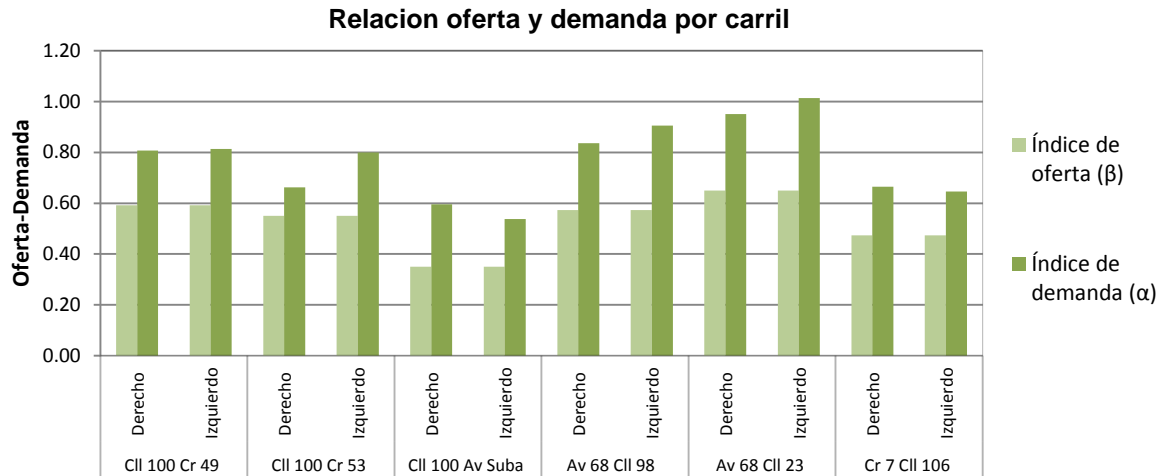


Fuente: Elaboración propia

De esta forma, se determina una relación de proporcionalidad entre el exceso de demanda y el porcentaje de motocicletas, mostrando afectación en la capacidad vial por la presencia de estas.

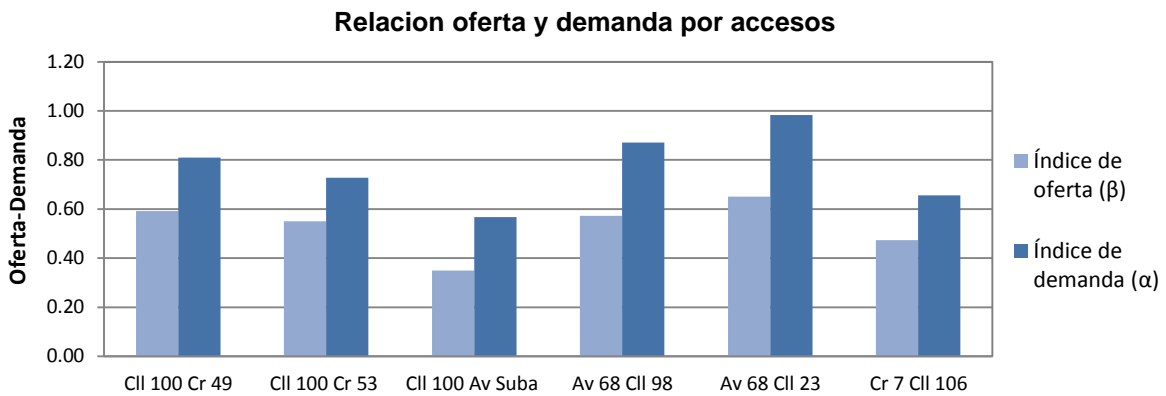
El índice de oferta-demanda, presenta una de las condiciones de la no congestión, con base a los tiempos de verde, tiempos de ciclo, volúmenes de hora de máxima demanda y saturación; se obtuvieron estos índices tanto en carriles como en accesos semaforizados, determinando una condición de congestión en todos los accesos, siendo el índice de demanda mayor al índice de la oferta como se muestra en la Gráfica 47 y Gráfica 48.

Gráfica 47. Relación oferta y demanda en carriles semaforizados.



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 48. Relación oferta y demanda en accesos semaforizados.



Fuente: Elaboración propia

6.9. VALIDEZ DEL FACTOR DE AJUSTE F_m .

La diferencia de los flujos de saturación medidos en campo y los flujos de saturación teóricos sin ajustar son mayores a las diferencias de los flujos de saturación medidos en campo y los flujos de saturación ajustados por presencia de motocicletas. Además, la relación entre los primeros flujos de saturación descritos anteriormente, muestran una correlación nula de 0,005; asegurando que los accesos seleccionados tienen las condiciones ideales para elaborar este

estudio. Por el contrario, para la relación entre flujo de saturación medido y flujo de saturación ajustado por presencia de motocicletas, se obtiene un coeficiente de determinación de 0,8126.

Por otro lado y de manera general para los seis (6) accesos de estudio se realizaron 1423 conteos, con un nivel de confianza del 95% y un error de 0.2 vehículos/intervalo, por consiguiente se comprueba la representatividad del estudio, aclarando que se obtuvieron mayores muestras observadas, en comparación con las muestras mínimas obtenidas por el análisis estadístico de cada acceso.

Por lo tanto, el factor de ajuste F_m , no se debe despreciar, para el cálculo de flujo de saturación por el método de factores de ajuste planteado por el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C.

Es importante destacar que la metodología aplicada para el estudio, permite medir la influencia de la presencia de motocicletas sobre la capacidad vial.

7. CONCLUSIONES

Se estimaron los factores de equivalencia para automóviles, buses, camiones y motocicletas, en los accesos semaforizados de estudio compuestos por 2 carriles, mediante intervalos de paso entre vehículos del mismo tipo. La tabla 29, muestra los factores equivalentes encontrados, con unas desviaciones estándar de 0,420, 0,865, 0,666 y 0,288, para autos, buses, camiones y motocicletas respectivamente, con un nivel de confianza del 95%.

Al comparar los flujos de saturación con los factores de equivalencia obtenidos para Bogotá D.C., en este estudio y los flujos de saturación obtenidos con los factores de equivalencia típicos del HCM 2000, se evidencia un alza de estos últimos. Por tanto se determina que los estudios de tránsito se deben hacer con parámetros presentes en las calles de estudio, en este caso las bogotanas, ya que el comportamiento del tránsito y las características físicas de las calles norteamericanas, son considerablemente distintas y al usarse estos parámetros se sobreestimarían los valores.

Tabla 29. Resultados de factor de equivalencia.

FACTORES DE EQUIVALENCIA		
Factor Equivalencia	Usados por el HCM 2000	Medidos
Factor Equivalencia Autos	1,00	1,00
Factor Equivalencia Motocicletas	0,50	0,34
Factor Equivalencia Buses	2,00	2,01
Factor Equivalencia Camiones	2,50	2,52

Fuente: Elaboración propia

Se determinó el factor de ajuste por presencia de motocicletas F_m , para el cálculo de flujo de saturación. Como resultado de este proceso, se conformó una tabla con factores de ajuste, para diferentes porcentajes de motocicletas que varían entre un 0% y un 40% (ver Tabla 30.), debido a que el máximo porcentaje de motocicletas, obtenido en campo en los 6 accesos estudiados, fue del 39%. Cabe aclarar que estos factores son utilizables, siempre y cuando el grupo de accesos para el estudio, tengan porcentajes de motocicletas menores al 40%, y sean de dos carriles. Estos factores son aplicables a estudios de saturación en accesos semaforizados de Bogotá D.C.

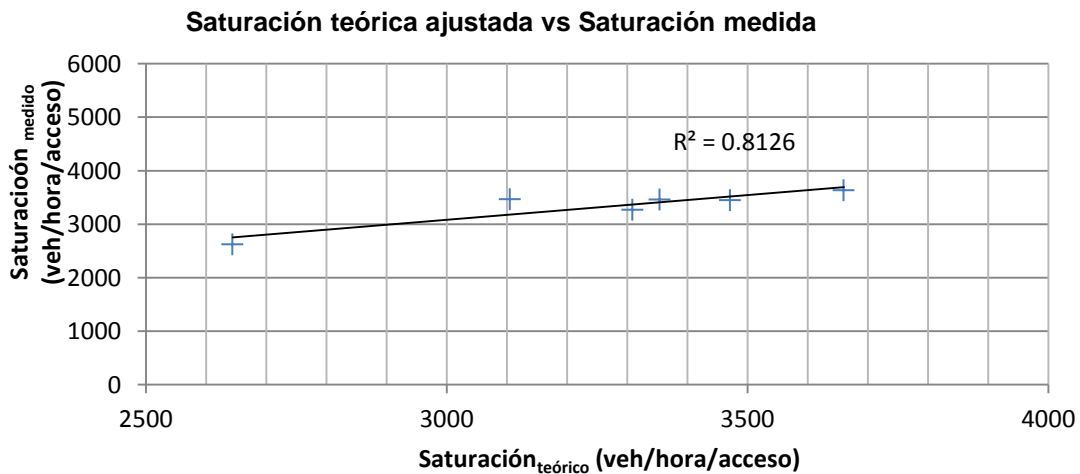
Tabla 30. Factor de ajuste por presencia de motocicletas F_m .

FACTOR DE AJUSTE POR PRESENCIA DE MOTOCICLETAS FM							
Porcentaje	F_m	Porcentaje	F_m	Porcentaje	F_m	Porcentaje	F_m
0%	1,000	11%	0,957	22%	0,897	33%	0,834
1%	0,996	12%	0,954	23%	0,896	34%	0,808
2%	0,992	13%	0,950	24%	0,895	35%	0,783
3%	0,988	14%	0,946	25%	0,894	36%	0,757
4%	0,985	15%	0,942	26%	0,894	37%	0,732
5%	0,981	16%	0,931	27%	0,893	38%	0,706
6%	0,977	17%	0,915	28%	0,892	39%	0,681
7%	0,973	18%	0,900	29%	0,886	40%	0,655
8%	0,969	19%	0,899	30%	0,876		
9%	0,965	20%	0,898	31%	0,865		
10%	0,961	21%	0,897	32%	0,854		

Fuente: Elaboración propia

El flujo de saturación medido en campo, al igual que el flujo de saturación obtenido por la metodología del Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C., ajustado con el factor F_m por presencia de motocicletas, se correlacionó (ver Gráfica 49); observando un coeficiente de determinación de 0,8126, para el flujo ajustado por F_m . De este modo se observa un impacto importante en la saturación, por parte de las motocicletas y el grupo de factores F_m determinados en el presente estudio.

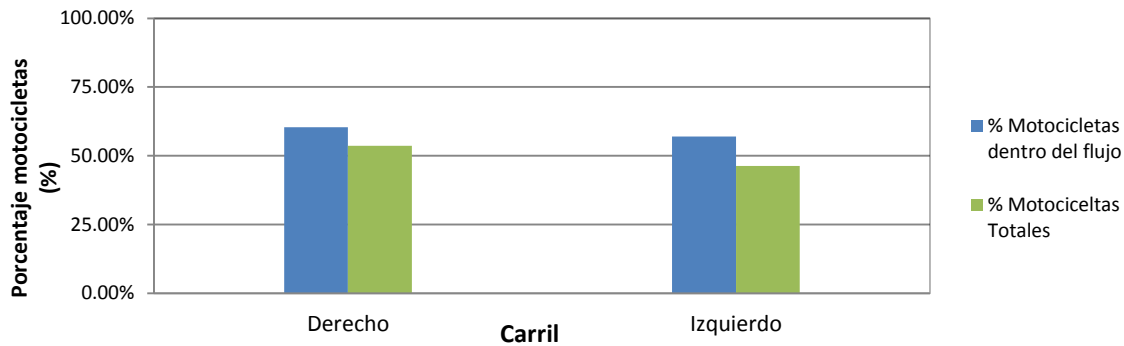
Gráfica 49. Relación entre flujo de saturación ajustado y el flujo de saturación medido.



Fuente: Elaboración propia

A partir de la relación de flujo de saturación y volúmenes con respecto a los carriles (derecho e izquierdo), se obtuvo una disminución en el flujo de saturación en el carril derecho, por la afectación de porcentajes altos de motocicletas, en este carril: tanto dentro del flujo con un 60,41%, como motocicletas totales con un 53,65%.

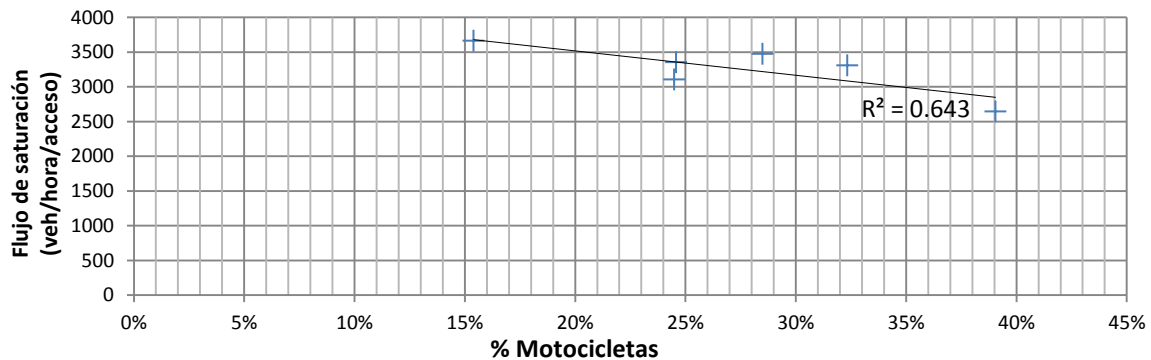
Gráfica 50. Porcentaje de motocicletas por carril según su posición



Fuente: Elaboración propia

Se analizó el flujo de saturación, con diferentes porcentajes de motocicletas en accesos semaforizados, tanto por carril como por acceso; obteniendo un coeficiente de correlación mejor por acceso de 0,643. Se determinó una disminución en el flujo de saturación en relación a porcentajes altos de motocicletas para todos los 6 accesos de estudio, indicando la existencia de una afectación directa entre estas dos variables y por ende un efecto de las motocicletas en la capacidad vial de intersecciones semaforizadas. Por tanto, se debe tener en cuenta en el diseño geométrico y operación de las intersecciones semaforizadas.

Gráfica 51. Flujo de saturación vs porcentaje de motos por acceso.

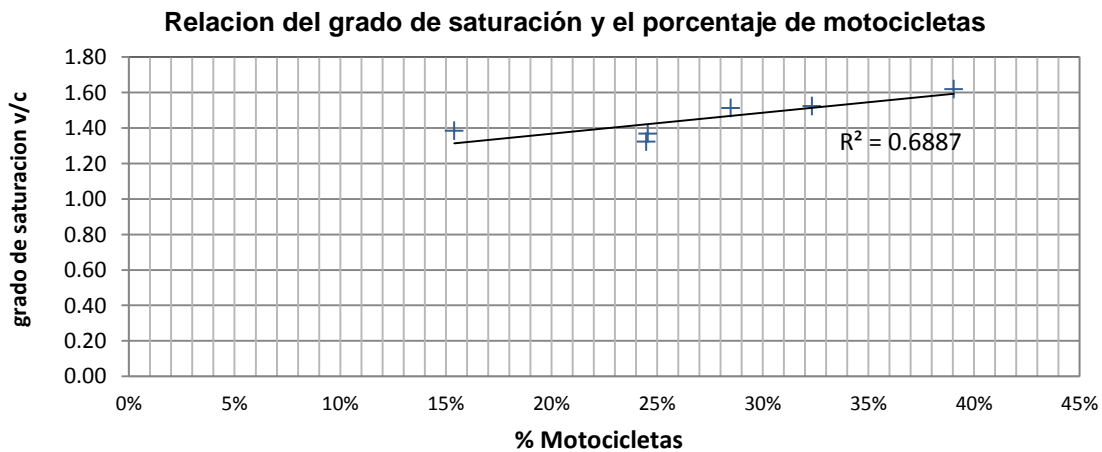


Fuente: Elaboración propia

La relación entre los flujos de saturación y las motocicletas dentro del flujo por acceso, determina un coeficiente de correlación de 0,643 y la relación entre flujos de saturación y motocicletas totales por acceso, determina un coeficiente de determinación de 0,476. Lo anterior, corroboró una mejor relación entre flujos de saturación y motocicletas dentro del flujo para el análisis por acceso, por tanto fue correcto utilizar estas motocicletas para los estudios de saturación, lo cual es lógico, ya que el flujo se ve afectado por la cola ordenada de vehículos detrás de la línea de pare y no por el total de motocicletas que pueden ubicarse al lado y lado de los vehículos.

Se determinó la relación entre el grado de saturación y el porcentaje de motocicletas, obteniendo un coeficiente de correlación de 0,6887, indicando que a medida que aumenta el porcentaje de motocicletas, aumenta la relación de volumen de máxima demanda y capacidad. De esta manera, se identifica la influencia por la presencia de motocicletas en los accesos semaforizados de la ciudad de Bogotá D.C.

Gráfica 52. Grado de saturación vs porcentaje de motocicletas por acceso.



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los coeficientes de correlación aceptables obtenidos para las relaciones entre el flujo de saturación tanto para carriles como para accesos entre porcentajes de motocicletas; se detectó, que estos se deben a la selección minuciosa que cada uno de los accesos de estudio tuvo; pues para ello, se eligieron accesos de características ideales en la medida de lo posible, con el propósito de utilizar parámetros de afectación mínimos y de esta manera garantizar como resultado, factores de ajuste de 1.00 o cercanos a 1.00. Por

consiguiente, el único factor de ajuste que afectó considerablemente el flujo de saturación y por ende la capacidad vial, fue la presencia de motocicletas.

Para el presente estudio se encontró que el promedio de motocicletas dentro del flujo fue de 65% y el promedio de motocicletas fuera del flujo fue del 35%, aunque este último es la proporción menor, cabe resaltar que es un porcentaje considerable que indica el comportamiento inadecuado e incumpliendo de las normas, por parte de algunos de estos vehículos, como plantea el Código de Tránsito de Colombia²⁵, el cual dice que estos vehículos; deben transitar por la derecha de las vías a distancia no mayor de un (1) metro de la acera u orilla, los conductores que transitan en grupo lo deben hacer uno detrás de otro, no deben adelantar a otros vehículos por la derecha o entre otros vehículos que transiten por sus respectivos carriles y no se debe adelantar en “zig-zagueo” a otros vehículos.

Se utilizó como medio la captura automática de datos de tráfico, a partir de videos (software de visión artificial), para la determinación de los conteos de flujo de saturación, intervalos para factor de equivalencia y composición para volúmenes vehiculares, detectando un error de conteo para las motocicletas de 13,79 %, ya que el software de visión artificial, no captura las motocicletas fuera del flujo.

Cabe resaltar la importancia de esta utilización de videos y captura automática de datos mediante programas electrónicos, aplicados a estudios de tránsito; ya que representa un aprovechamiento importante de recursos en el momento de extraer variables de tránsito simultáneamente; y por supuesto la confiabilidad de los resultados obtenidos, ya que está comprobado que en los conteos manuales, “la atención de la mayoría de personas se degenera muy por debajo de los niveles aceptables, en tan solo 20 minutos”²⁶. En Colombia, el trabajo mediante cámaras de video y captura automática de datos, para el apoyo de estudios de tránsito no es conocido; por tanto es conveniente empezar a conocerlo e incentivar a las empresas que aforan de manera manual, la inclusión estos sistemas en sus estudios.

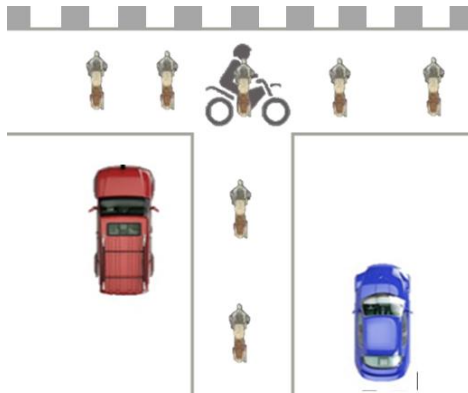
Puesto que se comprobó la afectación de las motocicletas en la capacidad vial, se recomienda la implementación de carriles exclusivos de motocicletas y adecuación

²⁵ SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE BOGOTÁ D.C. [online]. Código de tránsito de Colombia. Bogotá D.C., 2002. Título 3. Capítulo 5. Artículo 94°.

²⁶ GREEN, Mary. The appropriate and effective use of security technologies in U.S. schools. [online], 1999. Disponible en internet <http://ncjrs.gov/scooh/1782655.pdf>.

de líneas de avance detrás de pare para estos vehículos (ver Figura 19), teniendo en cuenta que estos sistemas existen y funcionan a cabalidad en Madrid y Londres, y se están implementando en Buenos Aires y Sao Paulo. Siendo de gran importancia, ya que estos vehículos contarían con un espacio propio, y no invadirían los carriles de los automóviles, buses y camiones y por consiguiente no se afectaría la capacidad vial por la presencia de motocicletas, en las intersecciones semaforizadas.

Figura 19. Carriles líneas de avances exclusivos para motocicletas



Fuente: Elaboración propia con base en Club YBR. [online], 2012. Disponible en internet <http://www.clubybr.com.ar/foro/viewtopic.php?f=29&t=16344>

Es importante resaltar la efectividad de la metodología Webster & Cobbe, propuesta para el estudio de flujo de saturación, ya que permitió determinar correctamente el flujo de saturación, para todos los accesos y carriles correspondientes al estudio que anteriormente se suscita.

En general, los parámetros estadísticos obtenidos para flujo de saturación y factor de equivalencia, tales como desviación estándar, coeficiente de variación, coeficiente de correlación y variaciones relativas y absolutas en el análisis de la información, demuestran la confiabilidad de los datos recolectados, con un nivel de confianza del 95 % para los dos estudios.

A partir del proceso de recolección de información en campo, se identificó que pueden existir otros factores de ajuste, que no han sido adaptados al medio bogotano que tienen relevancia en el flujo de saturación de las intersecciones semaforizadas, como la presencia de vendedores ambulantes, situación constante en los accesos de estudio.

Este estudio genera una perspectiva a investigaciones futuras, las cuales incluirían análisis de accesos con 1, 3 o más carriles, porcentajes mayores al 40% de motocicletas, y estudios por tipo de áreas, para determinar diferencias entre estos parámetros y quizás resultados distintos y comparativos a este.

8. RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las recomendaciones que se generaron a partir del desarrollo del presente trabajo de influencia por la presencia de motocicletas en la capacidad vial de accesos semaforizados. Este capítulo contiene recomendaciones generales y específicas acerca del estudio.

8.1. GENERALES

En cuanto a la herramienta de programa de visión artificial, utilizada para la captura automática de datos, para próximos estudios; se recomienda adicionar al algoritmo la captura de motocicletas fuera del flujo, para los estudios de volúmenes vehiculares y flujo de saturación según corresponda. Además el software, proyecta los resultados del conteo automático de datos sobre el video de estudio, y los observadores deben pasarlos manualmente a los formatos establecidos; se sugiere modificar el programa, para que muestre la información en matrices de archivos planos y de esta manera agilizar el procesamiento de información y su respectivo análisis.

Cabe resaltar que el programa está limitado en altura, ya que necesita una vista en planta del total de los carriles a estudiar, por tanto la recomendación de altura es de mínimo 5 m, aclarando que entre mayor sea esta medida mejor será la identificación de vehículos.

La selección de accesos es la base para obtener resultados confiables, por lo tanto, se recomienda hacer uso de una base de datos completa, y adecuadamente actualizada, de esta manera, garantizará la selección de accesos ideales.

Para la selección de accesos ideales se recomienda tener en cuenta todos los parámetros sugeridos por el Manual de Planeación y Diseño para Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C., realizando una verificación en campo. Además se recomienda revisar las condiciones de infraestructura como la demarcación de la línea de control o línea de parada, para registrar el paso de vehículos de manera correcta y exacta.

Para próximos estudios de saturación, se recomienda hacer las pruebas piloto, en todos los accesos de estudio y durante los períodos exactos de toma de información. Así, se podrá verificar las condiciones de saturación y los datos para

definir la afectación del flujo por la presencia de motocicletas, sobre la línea de pare. De la misma forma, se sugiere hacer aforos durante un mayor periodo de tiempo o como mínimo tres (3) aforos en cada intersección de estudio, con el fin de obtener conteos de datos más grandes y consecuentemente, comparaciones entre aforos de los mismos accesos, para determinar resultados mucho más representativos.

En lo posible hacer visitas previas en los períodos seleccionados de estudio, para verificar que durante estas horas no se presenten detenimiento de vehículos por parte de policías de tránsito, en el acceso estudiado o accesos siguientes, con el objeto de dar paso a los vehículos del otro sentido.

8.2. ESPECIFICAS

EL Manual de Planeación y Diseño para Administración del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C., determina el flujo de saturación a partir de una serie de parámetros que afectan la saturación ideal, e incluye dentro de su contenido, los valores correspondientes para cada factor de ajuste como el de ancho de carril, presencia de vehículos pesados, afectación por giros, entre otros. Se recomienda calibrar cada uno de estos parámetros, para los accesos seleccionados, ya que las condiciones de cada uno presentan características únicas y por tanto factores de ajuste distintos.

Ya que el cálculo para el factor de ajuste por presencia de motocicletas en la capacidad vial, se basa en la selección de una saturación base, es conveniente, para estudios similares incluir accesos semaforizados de estudio, con porcentajes de motocicletas menores al 15%, puesto que el presente estudio no presento porcentajes menores a este.

A partir de la determinación del factor de ajuste por presencia de motocicletas F_m , para diferentes porcentajes de estos vehículos, se recomienda entonces, utilizar en estudios de saturación estos factores según corresponda, consignados en la Tabla 30., los cuales cuentan con un nivel de confianza del 95% y un error de ± 0.2 veh/intervalo.

Se observó que el comportamiento de los accesos bogotanos, tienen particularidades que no se han estudiado, se recomienda determinar nuevos

factores prevalecientes, como presencia de ventas ambulantes u obstrucción de peatones ya que estos fenómenos se presentan en la mayoría de los accesos. A pesar de que se resalta que el presente estudio fue el primer paso de un proceso de investigación, se recomienda hacer estudios complementarios de este mismo tipo, para determinar factores F_m , en diferentes sectores de Bogotá D.C. y con diferentes números de carriles.

Ya que se identificó con claridad el inadecuado comportamiento de las motocicletas, y el incumplimiento de las normas establecidas para estos vehículos, se recomiendan campañas preventivas, por parte de la ciudad para que los conductores de motocicletas, se ubiquen en la cola ocupando el espacio de un vehículo, como lo indica el Código de Tránsito de Colombia²⁷; y sanciones más fuertes por parte de las autoridades de tránsito, para los infractores de estas normas.

Los porcentajes altos de motocicletas y la afectación en el flujo de saturación diario por presencia de estas; sugieren que es necesario tomar medidas para algunos accesos bogotanos, como los adoptados en ciudad de Cali, dónde se asignaron carriles exclusivos para motocicletas; con el propósito de evitar la afectación del flujo constante de vehículos, tanto livianos como pesados, ya que las motocicletas al hacer maniobras de zigzag, se ubican con facilidad al lado de los demás vehículos, ocasionando demoras de arranque y congestión en los accesos semaforizados.

²⁷ SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE BOGOTÁ D.C. [online]. Código de tránsito de Colombia. Bogotá D.C., 2002. Título 3. Capítulo 5. Artículo 94°.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, Jorge, et al. El transporte como soporte al desarrollo de Colombia. Una visión al 2040. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes, 2009. p.156-158.

CAL Y MAYOR, Rafael, et al. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. Planeación del transporte urbano. 8 ed. Bogotá D.C., 1998-2005, vol. 1.

CAL Y MAYOR, Rafael, et al. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. Tránsito vehicular. 8 ed. Bogotá D.C., 1998-2005, vol. 1.

CAL Y MAYOR, Rafael, et al. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. Parámetros de tránsito, caso Bogotá, Flujo Dicontinuo. 8 ed. Bogotá D.C., 1998-2005, vol. 2.

CAL Y MAYOR, Rafael, et al. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. Volúmenes de tránsito direccionales. 8 ed. Bogotá D.C., 1998-2005, vol. 3.

CAL & MAYOR, Rafael y CARDENAS, James. Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones. 8 ed. México D.F.: Alfaomega, 2010 , p. 277- 452.

DUQUE, David y ROBLEDO, Juan. Análisis de la influencia que tienen las paradas del transporte público sobre el flujo de saturación en el centro de Bogotá. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, 2009. p. 12.

GREEN, Mary. The appropriate and effective use of security technologies in U.S. schools. [online], 1999. Disponible en internet <http://ncjrs.gov/scooh/1782655.pdf>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Trabajos escritos: Presentación y referencias bibliográficas. Sexta edición. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2012. NTC 1486, 5613 y 4490.

LEONG, Lee Vien, WAN, Hashim y AHMAD, Farhan. Effect of motorcycles travel behaviour on saturation flow rates at signalized intersections in Malaysia. [online]: Journal adelaide convention centre (Australia), 2008. p. 1-10. Disponible en Internet en: http://eprints.usm.my/13524/1/Effect_of_motorcycles_-_23rd_ARRB_Conference.pdf

MINH, Chu Cong y SANO, Kazushi. Analysis of motorcycle effects to saturation flow rate at signalized intersection in developing countries. [online]: Journal of the Eastern Asia society for transportation studies, 2003 [citado 14 mar., 2012]. vol. 5. p. 1-14. Disponible en Internet en: <http://www.easts.info/2003journal/papers/1211.pdf>.

MINISTERIO DE TRANSPORTE DE COLOMBIA. Manual de señalización: Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorutas de Colombia. Bogotá D.C. (2004). p. 243-625.

MINISTERIO DE TRANSPORTE DE COLOMBIA. Diagnóstico del transporte en Colombia. Bogotá D.C. (2011). p. 43-44.

MORENO, Oscar y ARANGURE, Gustavo. Identificación y análisis de las metodologías disponibles para el cálculo de flujo de saturación en intersecciones semaforizadas. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2000. p. 10-11.

NAKATSUJI, Takashi y ., et al. Effects of motorcycle on capacity of signalized intersections. [online]: Journal of infrastructure planning review, 2001. p. 1-4. Disponible en Internet en: <http://sciencelinks.jp/j-east/article/200203/000020020302A0024356.php>

PIMIENTO ÁLVAREZ, Mónica Alejandra. Análisis de variables de flujo de saturación en accesos semaforizados. Proyecto de grado (Ingeniero Electrónico). Bogotá D.C. : Pontificia Universidad Javeriana. Departamento de Ingeniería Electrónica., 2013. p. 11-18.

Redacción Bogotá. Bogotanos tardan más de una hora para ir a un destino [online]. En: El tiempo. Bogotá D.C. 21, Nov., 2011. Disponible en Internet en: http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-10802864.html

Redacción Bogotá. Sistema Integrado de Transporte recortaría los tiempos de viaje [online]. En: El tiempo. Bogotá D.C. 16, Sept., 2012. Disponible en Internet en: http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-12227491.html

Redacción La patria. Interés en las motos mueve concesionarios [online]. En: La Patria. Bogotá D.C., 2012.

Disponible en Internet en: <http://www.lapatria.com/negocios/interes-en-las-motos-mueve-los-concesionarios-30532>.

REGISTRO DISTRITAL AUTOMOTOR-CONCESIÓN SERVICIOS INTEGRALES PARA LA MOVILIDAD DE BOGOTÁ. Cálculos directos de estudios sectoriales y de servicio. Bogotá D.C.(2011).

SÁNCHEZ, Jorge. Estimación de la afectación de la capacidad en intersecciones semaforizadas como consecuencia del estado del pavimento. Tesis de Magister en Transporte. Bogotá D.C.: Univesidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería, 2011. 4 p.

SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE BOGOTÁ D.C. Información relacionada con intersecciones semaforizadas en Bogotá D.C. Bogotá D.C., 2011.

SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE BOGOTÁ D.C. [online]. Código de tránsito de Colombia. Bogotá D.C., 2002. Título 3. Capítulo 5. Artículo 94°.

Disponible en Internet en:

<http://www.colombia.com/noticias/codigotransito/index.asp>

SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ. Cartilla monitoreo tránsito y transporte urbano Bogotá (2011). Bogotá D.C., 2011. 19 p.

SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ.. Información semaforica Bogotá D.C. de los años 2009 a 2012. [CD-ROM]. Bogotá D.C., 2013.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Highway Capacity Manual. Signalized Intersections. 4 ed. Washington: National research council, 2000.

TURNER, Jeff y HARAHAHAP, Ghandi. Simplified saturation flow data collection methods. En: Transport Research Laboratory. United Kingdom, Bandung, Indonesia, 1993. 12 p.

Anexo A. CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS

La clasificación de vehículos para el estudio de Influencia por la presencia de motocicletas en la capacidad vial de accesos semaforizados es:

Automóviles. Vehículo con motor de hasta 4 llantas destinado al transporte principalmente de personas. Pueden ser automóviles, camionetas o taxis:

Figura 20. Clasificación de automóviles.



Fuente: Elaboración propia con información base de SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD DE BOGOTÁ. Cartilla monitoreo tránsito y transporte urbano Bogotá (2011). Bogotá D.C., 2011. 18 p.

Buses. Vehículo de motor con fines exclusivos de transporte público de pasajeros destinado al transporte de más de ocho personas, de 6 o más llantas, ya sea bus, buseta, colectivo con fines escolares, particulares o públicos.

Figura 21. Clasificación de buses.





Fuente: Elaboración propia con información base de ibíd.,

Camión. Vehículos con motor cuyo uso puede ser para transporte de personas (más de 8 personas) o transporte de carga (más de 2 toneladas), ya sea camión pequeño, mediano o grande:

Figura 22. Clasificación de camiones.



Fuente: Elaboración propia con información base de ibíd.,

Motocicletas. Para este estudio se consideraran como motocicletas a los vehículos de dos ruedas, provistos de un motor.

Figura 23. Clasificación de motocicletas.



Fuente: Elaboración propia con información base de ibíd.,