

Maestría en Ingeniería Civil, Énfasis en Tránsito y Transporte

**Evaluación de la Afectación de Motocicletas en Intersecciones en
Bogotá**

Ingeniero Jaime Orlando Lizarazo Godoy

Bogotá, D.C., 30 de mayo de 2018



**Evaluación de la Afectación de Motocicletas en Intersecciones en
Bogotá**

**Tesis para Optar al Título de Magíster en Ingeniería Civil, con
Énfasis en Tránsito y Transporte**

Ingeniero Santiago Henao Pérez

Director

Bogotá, D.C., 30 de mayo de 2018



La tesis de maestría titulada evaluación de la afectación de Motocicletas en Intersecciones en Bogotá, presentada por Ing. Jaime Orlando Lizarazo Godoy, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en tránsito y transporte.

Director de la tesis

Ingeniero Santiago Henao Pérez

Jurado

Ing. Mónica Suarez

Nombre 2

Jurado

Ing. Alberto Boada

Nombre 3

Bogotá, D.C., 30 de mayo de 2018

Dedicatoria

A mi Señor Jesucristo quien me dio la fe y fortaleza de terminar esta maestría, a mi esposa Ingrid Iliani Pernet Castro quien me brindo su amor, cariño, estímulo y apoyo constante y mis dos hijos Miguel Jailian y Juan Pablo por su compañía, paciencia y quienes sacrificaron su tiempo con el fin de poder terminar con éxito y a mis maestros que con su paciencia y dedicación siempre me enseñaron.

Agradecimientos a:

Dios, por darme la oportunidad de existir y por estar con mi familia y fortalecer mi corazón e iluminarme y por haber puesto en mi camino a mi esposa Ingrid Iliani Pernet Castro y mis dos hijos Miguel Jailian y Juan Pablo que han sido mi soporte y compañía durante toda mi vida y periodo de estudio.

Mi profesor el Ingeniero Santiago Henao Pérez, por su gran apoyo, por creer en el proyecto, por su tiempo compartido, por impulsar el desarrollo de mi formación profesional.

A los funcionarios de la Secretaría de Movilidad de Bogotá D.C. por su valiosa colaboración.

A los funcionarios de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por su disposición y valiosa colaboración.

A todas las personas que contribuyeron con sus aportes con el objetivo que este proyecto de investigación fuera realizado con éxito.

Resumen

A escala mundial, el uso de la motocicleta ha aumentado, especialmente en Latinoamérica y países asiáticos (Sosa, et al., 2015). De la misma manera, en Colombia se ha incrementado la utilización de la moto con cifras alarmantes de más de 600.000 matrículas registradas en 2017 (ANDI, 2017). Se observa en la ciudad de Bogotá el aumento de las motocicletas, acompañado del alto índice de congestión vehicular, mayores accidentes y bajo desempeño de las metodologías que permiten evaluar el comportamiento del tráfico (Cabra, 2014), basados en el “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010”.

Analizar este problema implica la recolección, análisis e integración de los datos cualitativos y cuantitativos para generar inferencias mixtas y utilizando de manera simultánea la información que arroje la investigación en las cuatro intersecciones semaforizadas en la ciudad. El propósito es medir su nivel de servicio con la afectación de motociclistas y así tener una perspectiva más amplia y profunda del problema accediendo a datos con mayor solidez y rigor, y para establecer su significado mediante un proceso secuencial y deductivo, analizando múltiples realidades subjetivas con precisión y riqueza interpretativa. Se examinará el comportamiento de los motociclistas y cómo aplicar el “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010” en el nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas y seguidamente se identificará el impacto del Código Nacional de Tránsito de Colombia en las intersecciones semaforizadas. Finalmente se obtendrá la capacidad y nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas analizadas en Bogotá, afectadas por motociclistas, utilizando el *software* VISSIM. Hay pocas investigaciones que miden el efecto de la motocicleta en las intersecciones semaforizadas aplicando la metodología del “Manual de carreteras HCM 2010”, teniendo en cuenta que dichos vehículos se debe seguir una normativa según el Código Nacional de Tránsito de Colombia (Ley 769 de, 2002).

El presente trabajo de investigación analizará si las intersecciones semaforizadas del caso de estudio son afectadas por la presencia de motociclistas. Este trabajo está aplicado a problemas reales de la sociedad y la metodología propuesta proporciona conocimientos a mejorar el tráfico de la ciudad. Supera los enfoques tradicionales en Colombia al describir que las interacciones son puntos de concentración de motociclistas, y los factores de riesgo que contienen son de múltiples componentes del sistema humano-vehículo-ambiente, relacionados directamente con retardos o demoras en las colas de vehículos y el congestionamiento del tráfico en Bogotá.

Índice General

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
ESTADO DEL ARTE	15
1.1 La motocicleta en Colombia	15
1.2 La motocicleta y la accidentalidad	17
1.3 Marco teórico	21
1.3.1 Módulo de ajuste de volúmenes	22
1.3.2 Módulo de flujo de saturación	23
1.3.3 Módulo de análisis de capacidad	26
1.3.4 Módulo de nivel de servicio	28
2 METODOLOGÍA	30
2.1 Objetivos	30
2.2 Objetivo general	30
2.3 Objetivos específicos	30
2.3.1 Objetivo 1	30
2.3.2 Objetivo 2	30
2.3.3 Objetivo 3	30
2.3.4 Objetivo 4	31
2.4 Pregunta de investigación	31
2.5 Enfoque investigativo	31
2.6 Objetivo 1	32
2.6.1 Población:.....	32
2.6.2 Selección.....	32
2.7 Objetivo 2	32
2.7.1 Población	32
2.7.2 Selección.....	33
2.8 Objetivo 3	33
2.8.1 Población	33
2.8.2 Selección.....	34

2.9	Objetivo 4	34
2.9.1	Población	34
2.9.2	Selección.....	35
3	RESULTADOS Y CONTRIBUCIÓN	36
3.1	Distribución espacial	36
3.1.1	Indicadores de movilidad	40
3.1.2	Tasa de viajes en motocicletas.....	42
3.1.3	Tasa de viajes en automóvil particular.....	43
3.1.4	Transporte intermunicipal.....	44
3.1.5	Partición modal	45
3.1.6	Partición modal en los viajes motorizados.....	45
3.1.7	Partición modal en sábado.....	46
3.1.8	Tiempo promedio de viaje en Bogotá.....	46
3.1.9	Conclusiones.....	47
3.2	Selección de las intersecciones	48
3.2.1	Distribución Espacial	53
3.2.2	Toma de decisión	57
3.2.3	Identificación y cuantificación de la señalización existente	66
3.3	Determinación de niveles de servicio utilizando la metodología del “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010” con información secundaria	69
3.3.1	Características del tráfico vehicular en las intersecciones semaforizadas y el área de influencia..	69
3.3.2	Plan semafórico de las cuatro intersecciones	75
3.3.3	Flujo de saturación en las intersecciones semaforizadas	76
3.3.4	Análisis de la capacidad en las cuatro intersecciones.....	79
3.3.5	Determinación de los niveles de servicio en las intersecciones	80
3.4	Determinación de niveles de servicio con el software VISSIM	81
3.5	Determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico (norma INVE-792-13)	87
4	CONCLUSIONES	90
5	BIBLIOGRAFÍA	92
6	ANEXOS	96

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 2. Descripción del nivel de servicio de intersecciones semaforizadas	29
Tabla 4. Tasa de Motorización	39
Tabla 5. Comparativo total viajes y etapas	41
Tabla 6. Cantidad de etapas y viajes por medio de transporte de la zona de estudio.	42
Tabla 7. Numero de viajes por modo entre el 2011 y 2015	47
Tabla 8. Estado de la malla vial entre el 2007 y 2015	48
Tabla 12. Horarios y periodos de aforo de los diferentes tipos de estaciones	70
Tabla 13. Factores de expansión del cálculo de vehículos equivalentes livianos. camiones, moto y buses	71
Tabla 14. Cuadro resumen aforos vehiculares de las cuatro intersecciones semaforizadas en la ciudad de Bogotá D.C.	72
Tabla 15. Porcentajes de aportes en las cuatro intersecciones semaforizadas	73
Tabla 16. Distribución de planes semaforicos de acuerdo con el HMD de las cuatro intersecciones	76
Tabla 17. Cuadro resumen intersecciones flujo de saturación ajustado: Si (vehículos/h verde)	77
Tabla 18. Factor Fw ancho de carril	77
Tabla 19. Comparación resultados capacidad en las intersecciones	80
Tabla 20. Comparación nivel de servicio intersecciones semaforizadas	81
Tabla 21. Movimientos vehiculares	82
Tabla 22. Comparación nivel de servicio intersecciones semaforizadas	85
Tabla 23. Coeficientes de fricción (Péndulo Británico)	87
Tabla 24. Valores mínimos de coeficiente de fricción de pavimentos en el Reino Unido ..	89

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Matricula de motocicletas acumulado entre 2012 y 2016.	15
Figura 2. Imagen de intersección en la ciudad de Bogotá.	17
Figura 3. Cuadro de fallecidos y lesionados por accidentes de tránsito y según condición de la víctima comparativo 2016.	18
Figura 4. Estado malla vial arterial 2013.	19
Figura 5. Combinación grupo de carriles.	22
Figura 6. Variación con el tiempo de descarga de la cola en un período verde completamente saturado.	23
Figura 7. Polígono de acumulación de cola.	26
Figura 8. Estudio de área región de Bogotá.	36
Figura 9. Población zona de estudio entre los años 2011, 2014 y 2015.	37
Figura 10. Distribución porcentual de la población de Bogotá por estratos.	38
Figura 11. Distribución población por estrato socioeconómico.	38
Figura 12. Indicador distribución vehículo motorizado por estrato de la vivienda.	39
Figura 13. Tasa de viajes en moto.	42
Figura 14. Distribución horaria de viajes en moto.	43
Figura 15. Tasa de viajes en automóvil (2011-2015).	43
Figura 16. Distribución horaria en viajes automóvil.	44
Figura 17. Distribución de viajes intermunicipal.	45
Figura 18. Accidentalidad de Motociclistas.	49
Figura 19. Uso de Casco año 2012.	49
Figura 20. Accidentes de tránsito entre 2012 y 2017.	50
Figura 21. Comparendos de motociclistas entre el 2012 y 2017.	51
Figura 22. Infracciones de tránsito entre 2012 y 2017.	52
Figura 23. Cartilla de seguridad vial 2017.	53
Figura 24. Unidades de planeación UPZ de la ciudad de Bogotá identificando estratos sociales. Fuente. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.02.019	54
Figura 25. Sistema de transporte masivo BRT de la ciudad de Bogotá.	55
Figura 26. Intersecciones semaforizadas de Bogotá con alto índice de accidentalidad.	56
Figura 27. Patrones de viajes de destino de empleos de la ciudad de Bogotá.	57
Figura 28. Áreas de Mayor accidentalidad de Bogotá 2017.	58
Figura 29. Patrón de viajes de destino en función de lugar de trabajo de la ciudad de Bogotá. Fuente. Elaboración propia.	59
Figura 30. Intersecciones seleccionadas por localidad.	61
Figura 31. Intersección N.º 5: Código N.º 1011 ubicada en la carrera 7 con calle 67.	62
Figura 32. Intersección N.º 1 del Grupo 1.	62
Figura 33. Intersección N.º 13: Código N.º 2163 ubicada en la carrera 16 con calle 34.	63
Figura 34. Intersección N.º 2 del Grupo 1.	63
Figura 35. Intersección N.º 16: Código N.º 1499 ubicada en la carrera 94 con calle 80.	64
Figura 36. Intersección N.º 3 del Grupo 2.	64
Figura 37. Intersección N.º 3: Código N.º 1255 ubicada en la carrera 7 con calle 127.	65
Figura 38. Intersección N.º 4 del Grupo 3.	65

Figura 39. Inventario de señales carrera 7 X calle 67	66
Figura 40. Inventario de señales calle 34 x carrera 16	66
Figura 41. Inventario de señales calle 80 x carrera 94	67
Figura 42. Inventario de señales carrera 7 x calle 127	67
Figura 43. Fotografías del mal estado de las intersecciones	68
Figura 44. Composición vehicular intersección carrera 7 por calle 67	73
Figura 45. Composición vehicular intersección carrera 17 por Calle 34	74
Figura 46. Composición vehicular intersección calle 80 por carrera 94.....	74
Figura 47. Composición vehicular intersección calle 80 por carrera 94.....	75
Figura 48. Flujo de saturación base HCM 2010.....	79
Figura 49. Movimientos vehiculares de forma grafica.....	82
Figura 50. GEH Intersección carrera 7 X Calle 67.	84
Figura 51. GEH Intersección carrera 16 X calle 34.	84
Figura 52. GEH Intersección carrera 94 X calle 80.	84
Figura 53. GEH Intersección carrera 7 X calle 127.	85
Figura 54. Longitud de las colas carrera 7 X calle 67.	86
Figura 55. Longitud de las colas carrera 16 X calle 34.....	86
Figura 56. Longitud de las colas carrera 94 X calle 80.....	86
Figura 57. Longitud de las colas carrera 7 X calle 127.....	87
Figura 58. Riesgo relativo de accidentalidad por efecto de la variación en la resistencia al deslizamiento.	88

Índice de Anexos

	Pág.
Anexo 1: Hojas de Cálculo con metodología HCM 2010, resultados de VISSIM (GEH) y bases de datos de las 4 intersecciones semaforizadas.	96
Anexo 2: Planos de inventario de señalización horizontal y vertical de las 4 intersecciones semaforizadas.	96
Anexo 3: Bases de datos de comparendos desde el 2002 al 2017 de la ciudad de Bogotá.	96
Anexo 4: Bases de datos de los accidentes desde el 2002 al 2017 de la ciudad de Bogotá.	96
Anexo 5: Bases de datos de volúmenes (aforos) de la Secretaría de Movilidad de Bogotá de las cuatro intersecciones semaforizadas.	96
Anexo 6: Archivos con la simulación en VISSIM de las cuatro intersecciones semaforizadas.	96
Anexo 7: Informe fotográfico de la señalización horizontal y vertical de las cuatro intersecciones semaforizadas.	96
Anexo 8: Informe de los ensayos de coeficiente de rozamiento con péndulo británico elaborados por parte del centro de estudios geotécnicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito	96
Anexo 9: Videos de la realización de los ensayos realizado por el técnico de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.	96
Anexo 10: Oficios enviados y recibidos de diferentes entidades como Ministerio de Transporte, Secretaría Distrital de Movilidad y Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.	96
Anexo 11: Archivo en .kmz de los accidentes de tránsito en la Ciudad de Bogotá.	96

Introducción

En Latinoamérica, el uso de la motocicleta se ha convertido en un medio de transporte más de las familias y su auge va en crecimiento. Por ejemplo, en Argentina el total de motos registradas aumentó el 329 % entre 1997 y 2009; en Venezuela el 448 % entre 2007 y 2013, y en Colombia un 400 % entre 2007 y 2013 (Sosa et al., 2015). Estos altos índices de adquisición de motocicletas se están viendo reflejados en la congestión vehicular y en la inseguridad vial.

Al ser conveniente y asequible, la motocicleta es uno de los modos personales en crecimiento, en la ciudad de Bogotá, donde aumentó en seis puntos, porcentuales según resultados de la encuesta “Bogotá, cómo vamos”: pasó de 13 % 2014 a 19 % 2015 (El Tiempo, 2015), lo que resulta en una muy alta concentración de motocicletas en las intersecciones. El tamaño reducido y versátil de estos vehículos tiene un impacto negativo considerable en las características generales del tráfico y la seguridad vial (Sosa et al., 2015), debido a varios factores:

El primer factor, son los accidentes de tráfico. En 2009 el 39 % de las personas en América del Norte y América del Sur fallecieron por este motivo fueron motociclistas (Organización Panamericana de la Salud, 2009). El segundo factor negativo es el uso de la motocicleta como servicio de transporte público denominado “mototaxi”, lo cual ha generado conflictos de orden social en varias ciudades de Colombia (El Universal, 2011), dado que ofrece servicios de transporte más barato y más rápido en razón de la falta de controles y regulación que deja el servicio a la libre oferta y demanda (Sosa et al., 2015).

Como tercer factor negativo esta la contaminación atmosférica en términos de monóxido de carbono (CO)₂ e hidrocarburo (HC); las motocicletas son mucho más contaminantes en comparación con automóvil (Chiou, et al., 2009).

Sumado a estos tres aspectos el estado actual del funcionamiento del tránsito en la ciudad de Bogotá es desfavorable en un 67 % (Red de Ciudades Cómo Vamos, 2014). De tal manera, la composición del tránsito es una variable importante para determinar el nivel de servicio y capacidad de las intersecciones semaforizadas dentro del sistema vial y como objeto de investigación es determinar la afectación de motociclistas y medir el nivel de cumplimiento del Código Nacional de Tránsito de Colombia (Ley 769 de, 2002).

Las combinaciones de estos factores como la accidentalidad, el mototaxismo y la contaminación del medioambiente, crea externalidades con el uso de la motocicleta lo que lleva a generar condiciones complejas que se ven representadas en las intersecciones semaforizadas. Por ejemplo, un estudio de la influencia de la motocicleta en América Latina menciona que en Bogotá el motociclista genera congestión y restricción de circulación de automóviles privados, como también la baja calidad del servicio de transporte público (Sosa et al., 2015).

De la misma manera, la presente investigación pretende determinar si los motociclistas afectan el tráfico, si los conductores perciben claramente las señales de tránsito y si las normas de tránsito se siguen adecuadamente. En caso contrario, determinar hasta qué punto los motociclistas afectan los niveles de servicio en las intersecciones semaforizadas generando demoras en los vehículos y respondiendo al tráfico pesado al organizarse con algún comportamiento específico, como el filtrado, el movimiento uno al lado del otro de los vehículos en el mismo camino, acompañamiento diagonal, seguimiento y desvío. De igual forma, se medirá el coeficiente de resistencia al deslizamiento mediante ensayos con el péndulo británico en cuatro intersecciones semaforizadas con alto índice de accidentalidad para comprobar si tiene alto grado de deslizamiento (ICONTEC, 2002).

Por consiguiente, se hace necesario medir el desempeño de las intersecciones semaforizadas porque son elementos de discontinuidad, por representar situaciones críticas que requieren tratamiento específico, teniendo en consideración que las maniobras de convergencia, divergencia o cruce no son usuales en la mayor parte de los recorridos. Las intersecciones se debe contener las mejores condiciones de seguridad, visibilidad, capacidades y niveles de servicio (Bañón & Bevíá, 2012).

Capítulo I

Estado del Arte

La motocicleta a nivel mundial, su uso se ha aumentado especialmente en Latinoamérica y países asiáticos (Sosa et al., 2015). De la misma manera, en Colombia se ha incrementado la utilización de la moto con cifras alarmantes de más de 600.000 matrículas registradas en 2017 (ANDI, 2017). Se observa la ciudad de Bogotá, el aumento de las motocicletas acompañado del alto índice de congestión vehicular, mayores accidentes y bajo desempeño de las metodologías que permiten evaluar el comportamiento del tráfico (Cabra, 2014) basados en el “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010”.

1.1 La motocicleta en Colombia

En Colombia, la representación de motocicletas en el número total de vehículos aumentó de 29.1 % en 2003 a 56.4 % en 2017 (RUNT, 2017), pero en 2016 tuvo una disminución del 14,2 % en matrículas de motocicletas (figura 1), al pasar de 661.352 motocicletas nuevas registradas en 2015 a 567.640 unidades en 2016 (ANDI, 2017).

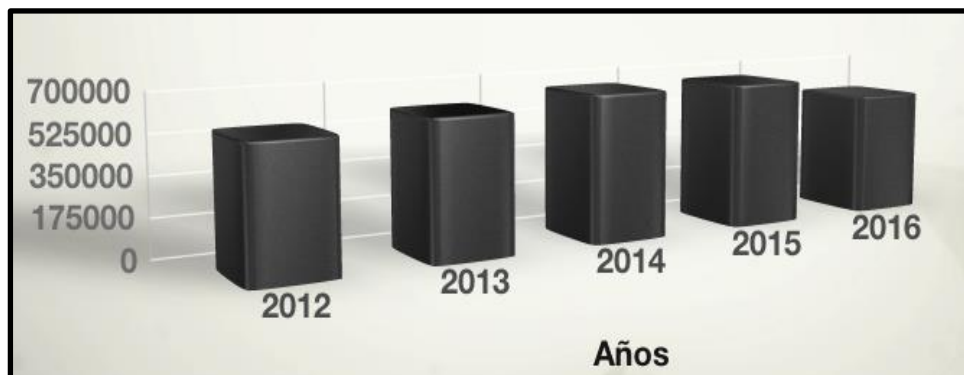


Figura 1. Matrícula de motocicletas acumulado entre 2012 y 2016.

Fuente. ANDI 2017

Algunas de las razones que llevaron a su crecimiento son precios accesibles, opciones de financiamiento, procesos simples de registro, herramientas de trabajo, la posibilidad de maniobrar en atascos, una opción al transporte público en áreas donde la cobertura y la frecuencia son deficientes, y una opción en ciudades con restricciones de circulación de automóviles privados (Jimenez, Pablo, Zarama, & Yerpez, 2015). Este crecimiento de

motociclistas se ve reflejado en el tráfico urbano produciendo efectos sobre conductores y conflictos con el flujo normal de los vehículos (Pai, 2009). De esta manera, una de las formas para medir la capacidad del tráfico es en las intersecciones, calculando la relación volumen - capacidad en cada acceso de la intersección y así manera dimensionar la tasa de flujo de tráfico de máxima demanda teniendo en cuenta el tránsito y tiempos de los semáforos comprometidos en la intersección (Academia Nacional de Ciencias, 2010).

Los flujos de tráfico operan en condiciones mixtas en las que la proporción de motocicletas es considerable teniendo en cuenta el crecimiento antes dicho y la participación extrema de las motocicletas de alguna manera afecta el rendimiento de otros tipos de vehículos (Cabra, 2014).

Existe el hecho de que el flujo de tráfico heterogéneo es más común que el flujo de tráfico homogéneo de motocicletas en el área urbana y la combinación entre motocicletas, automóviles y autobuses con diferentes composiciones de tráfico produce un tráfico diferente e influiría en el análisis de flujo de saturación (Nguyen, 2016). Además, los factores de ajuste de los giros a la izquierda y los giros a la derecha son importantes en la determinación del índice de flujo de saturación. El efecto de girar el tráfico (izquierda o derecha) depende de cómo interactúan con el tráfico a través de la intersección (Sayago Álzate, 2014).

Sin embargo, la distribución del nivel de mezcla es diferente en el área de espacio compartido o carril. Por ejemplo, las motocicletas están asignadas para correr en el carril lateral o en el lado derecho del acceso, los autos y autobuses están asignados para correr en el lado izquierdo del acceso “el carril lateral y el carril lateral medio” (Figura 2). Debido a la flexibilidad de la motocicleta, las motocicletas pueden cambiar los carriles fácilmente y elegir la ubicación de espera antes de descargar la línea de detención. Los automóviles y los autobuses son vehículos más grandes y no pueden cambiar el carril. Se debe permanecer y detenerse en su propio carril (en el lado izquierdo del enfoque). Es por ello, que la situación específica del tráfico en intersecciones semaforizadas dependientes de motociclistas hace que el efecto de giro hacia el flujo de saturación también sea diferente a otros estudios.



Figura 2. Imagen de intersección en la ciudad de Bogotá.

Fuente. Imagen de Internet. <http://www.elpais.com.co/california/el-50-de-las-motos-que-circulan-en-son-foraneas.html>

Es de resaltar que las demoras en ciertas intersecciones semaforizadas en Bogotá presentan inconformismo en los usuarios además de la pérdida de tiempo, consumo de combustible entre otras (Martínez & Martínez, 2012).

Se podría decir que en algunas ciudades en Colombia como Bogotá es dependiente de las motocicletas y según Khuat (2006) propuso tres indicadores principales: propiedad del vehículo, disponibilidad de alternativas y uso de motocicletas para identificar el nivel dependiente de la motocicleta. Una ciudad típica dependiente de motocicletas debe tener algunas características tales como: la propiedad de la motocicleta es superior a 350 por cada 1000 habitantes; la propiedad de automóviles privados es inferior a 150 por cada 1000 habitantes (Khuat, 2006); la disponibilidad del transporte público es inferior a 1 autobús por cada 1000 habitantes; división modal de la motocicleta es superior al 40 %, mientras que las divisiones modales del automóvil privado y el transporte público son inferiores al 20 %, y la distribución modal del transporte no motorizado es de aproximadamente 30 % a 50 %.

1.2 La motocicleta y la accidentalidad

En 2016 y 2017, los motociclistas representaron el 51,2 % de las muertes por accidentes de tránsito en Colombia (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2017), y en 2016 este porcentaje aumentó en lesiones al 63.8 % (INMLCF - Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2017) En promedio, seis motociclistas murieron todos los días en Colombia. En 2016, las fatalidades colisionaron principalmente con un objeto fijo o el pavimento 33.7 %, flete de automóvil 18.2 % o un vehículo privado 17.5 %. La mayoría de las muertes de motociclistas 55 % ocurrieron en áreas urbanas (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2017) (figura 3).

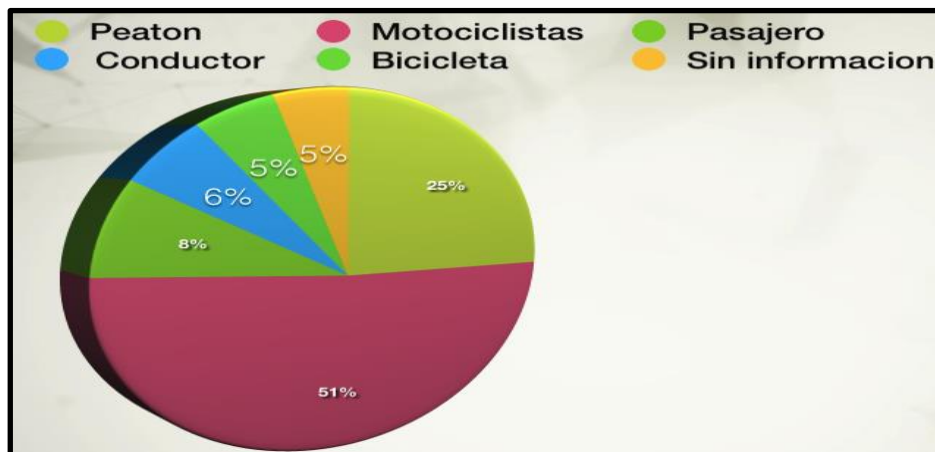


Figura 3. Cuadro de fallecidos y lesionados por accidentes de tránsito y según condición de la víctima comparativo 2016.

Fuente. Agencia Nacional de Seguridad Vial 2017

Las instituciones que establecen los estándares de seguridad vial a nivel rural y urbano son las oficinas municipales y urbanas, así como también el Ministerio de Transporte. En Colombia, el Código de Nacional Tránsito de Colombia (Ley 769 de, 2002) contiene las normas que debe seguir un motociclista; y no hay diferencias específicas con respecto a la capacidad de cilindraje. Hay dos tipos de licencia: tipo A1 conducir motocicletas con un cilindraje promedio de hasta 125 c.c. o B1 conducir motocicletas, bicicletas motorizadas y triciclos motorizados con una capacidad de cilindraje de más de 125 c.c. El cilindraje promedio en Colombia es comparativamente menor que la capacidad de las motocicletas que circulan por España o Francia. Este aspecto significa que los tipos de visitas que recibe el motociclista, en caso de accidente o pérdida de control, difieren según el contexto donde se estudian.

Según los datos oficiales de las motocicletas registradas en Bogotá, el número de motocicletas tiene una tendencia general de crecimiento; entre 2002 y 2011, el número de motocicletas se multiplicó por 20. Actualmente, los motociclistas representan el 21 % del número total de vehículos de motor en la ciudad capital, mientras que en 2003 las motocicletas no llegaron al 3 % del total. Hay 27 personas por motocicleta en Bogotá. Las motocicletas en Bogotá son relativamente recientes: 9.3 % son modelos del 2002, 20.8 % son modelos de 2003 a 2007, y 69.8 % son modelos de 2008 a 2016. En Bogotá, el 95.30 % de las motocicletas tiene 250 cc o menos. cilindrada (Jiménez, Pablo, Zarama, & Yerpez, 2015). Esto se define por su uso como medio de transporte cotidiano y la posibilidad de

usar el vehículo como herramienta de trabajo. El 100 % de los motociclistas y los pasajeros usan un casco en Bogotá.

También, las condiciones actuales en términos de infraestructura en Bogotá no son adecuadas en una movilidad segura con motociclistas. El 30 % de los 3.714,54 kilómetros de carriles de la red de carreteras arteriales está en estado malo - regular (figura 4), así como el 46 % de 3.150,37 Kilómetros de carriles de la red de carreteras intermedias, y el 79 % de 8.496 kilómetros de carriles de la red vial local (Instituto de Desarrollo Urbano, 2013). Los motociclistas comparten el camino con otros usuarios, incluidos aquellos caminos en los que las secciones transversales tienen más de 10 metros de ancho. La ciudad no tiene una infraestructura exclusiva en circulación de motocicletas.

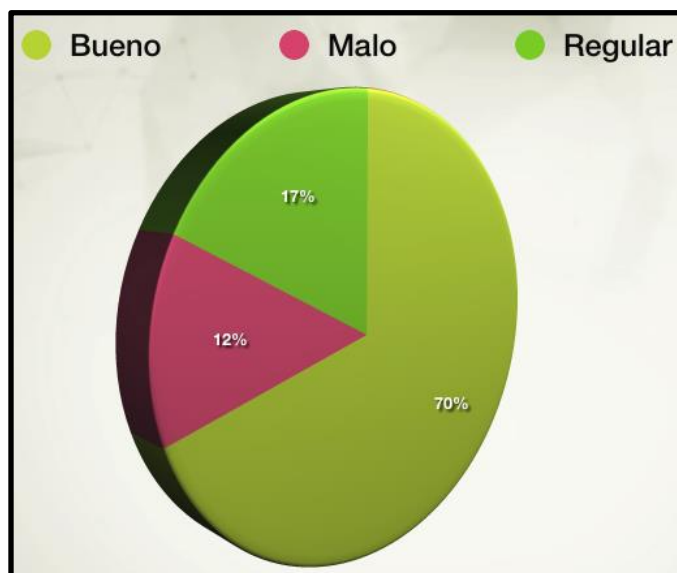


Figura 4. Estado malla vial arterial 2013.

Fuente. Instituto de Desarrollo Urbano 2017

Las particularidades de la circulación de motocicletas en Bogotá, desde una perspectiva de ser humano, vehículo y medioambiente como componentes, hacen que los accidentes que involucran a estos actores sean diferentes de los que ocurren en otros contextos (por ejemplo, Francia). Este aspecto resalta la necesidad de investigar los factores recurrentes que contribuyen a nivel local (Jimenez, Pablo, Zarama, & Yerpez, 2015).

El aumento de la motocicleta en la ciudad de Bogotá presenta los resultados obtenidos de un estudio de caso de 400 registros policiales de accidentes relacionados con motocicletas en Bogotá (Jimenez, Pablo, Zarama, & Yerpez, 2015). Logrando un nivel más profundo de

comprensión de cómo ocurren estos accidentes. La metodología fue aplicable al estudio de accidentes viales que involucran a todo tipo de actores, no solo a los motociclistas, y en contextos diferentes a los presentados en Bogotá determinando de cierta forma causas de accidentes con motociclistas y/o intersecciones con alto índice de accidentalidad.

De la misma forma, lo realiza (Abdul Manan & Várhelyi, 2015) cuando analiza el comportamiento relacionado con la seguridad vial de los motociclistas en los puntos de acceso en las carreteras principales de Malasia con un estudio observacional, centrado en los motociclistas, entre junio y agosto de 2012 con puntos de acceso en las secciones de carreteras rectas de las vías principales en Malasia, y se obtuvo más información sobre la situación real de accidentes de motociclistas y la influencia de está en el tráfico de la ciudad.

Con base en lo anterior, Bogotá es una ciudad dependiente de motocicletas y se debe realizar un análisis de la tasa de flujo de saturación en intersecciones señalizadas de condiciones de tráfico mixto (Nguyen, 2016). Además, teniendo en cuenta los ciclos del semáforo registrando la tasa de violación (Yan, Li, Zhang, & Hu, 2015). De esta manera, tener todos los datos tanto geométricos como de tráfico calculando la capacidad y el nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas objeto de estudio de la presente investigación.

Igualmente importante, y dando solución al objetivo principal, en Colombia y México realizaron investigaciones con motociclistas; La primera investigación, fue con la Universidad de los Andes (Cabra, 2014); determino el factor de equivalencia de motociclistas con pendiente de 0 % y vital en la presente investigación debido a que este factor se utilizará la metodología impuesta por el "Manual de capacidad de carreteras HCM 2010" (Academia Nacional de Ciencias, 2010). La segunda investigación, fue un estudio fue realizado por la universidad de Medellín (Sayago Álzate, 2014); se analizó el efecto de las motos en el flujo de saturación en una sola intersección en esa ciudad lo que no permitió analizar las capacidades ni el nivel de servicio, pero si se determinó en esa intersección la forma metodológica del "Manual de capacidad de carreteras HCM del año 2000" y obtener el flujo de saturación. La tercera investigación, fue en Ciudad de México y según (Martínez & Martínez, 2012), este estudio se basó en utilizar la metodología del "Manual de capacidad de carreteras HCM del año 2000" calculando la capacidad y el nivel de servicio en

intersecciones semaforizadas utilizando el factor de equivalencia de motos igual al de bicicletas.

En resumen, las diferentes investigaciones propuestas con los diferentes autores determinan que hay un problema de la participación de las motocicletas en el tráfico en las ciudades y es fácil inferir que hay pocas investigaciones que miden el efecto de la motocicleta en las intersecciones semaforizadas aplicando la metodología del “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010”, teniendo en cuenta que el motociclista debe seguir una normatividad en el caso de la ciudad de Bogotá el Código Nacional de Tránsito de Colombia (Secretaría de Transporte y Tránsito de Santafé de Bogotá D.C, 1996) el cual se realizara el análisis del grado de cumplimiento y efectividad de está reglamentación.

1.3 Marco teórico

Según Martínez & Martínez, (2012) define un nivel de servicio en una intersección semaforizada puede ser explicado por diferentes módulos basados en la metodología del “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010” (Academia Nacional de Ciencias, 2010). En la presente investigación se propone un marco teórico basado en cuatro módulos que se concretan a continuación:

Módulo de Ajuste de Volúmenes

Módulo de Flujo de Saturación

Módulo de Análisis de Capacidad

Módulo de Nivel de Servicio

Los módulos se basan en las características de tráfico, el diseño de la geometría y la semaforización de la intersección describiendo una metodología para evaluar la capacidad y el nivel de servicio prestado a los usuarios de la carretera que viajan a través de una intersección señalizada.

Sin embargo, la metodología es mucho más que una herramienta de la evaluación de la capacidad y la calidad del servicio. Incluye una variedad de medidas de rendimiento que describen la operación de intersección en múltiples modos de viaje. Estas medidas sirven como pistas de identificación en el origen de los problemas y proporcionan una información sobre el desarrollo de estrategias de mejora.

1.3.1 Módulo de ajuste de volúmenes

1.3.1.1 Grupo de carril

La metodología en las intersecciones semaforizadas se utiliza el concepto de grupo de carril describiendo y evaluando la operación de intersección (Academia Nacional de Ciencias, 2010). El concepto de grupo de carril describe los cálculos asociados con la metodología, describiéndose cómo movimientos de viraje por uno o más carriles compartidos en un grupo de movimientos y se debe someter a unas reglas de evaluación:

- Un carril exclusivo de giro a la izquierda debe designarse cómo grupo de carril separado y lo mismo en un carril exclusivo de giro a la derecha.
- Cualquier carril compartido debe designarse cómo un grupo de carril separado
- Todos los carriles que no sean carriles de giro exclusivo o carriles compartidos son combinados en un grupo de carriles.

Está metodología se puede aplicar a cualquier combinación lógica de estos grupos de carriles y la figura 5 muestra los grupos de movimientos comunes y grupos de carriles.

Number of Lanes	Movements by Lanes	Movement Groups (MG)	Lane Groups (LG)
1	Left, thru., & right:	MG 1:	LG 1:
2	Exclusive left:	MG 1:	LG 1:
	Thru. & right:	MG 2:	LG 2:
2	Left & thru.:	MG 1:	LG 1:
	Thru. & right:	MG 2:	LG 2:
3	Exclusive left:	MG 1:	LG 1:
	Through:	MG 2:	LG 2:
	Thru. & right:	MG 3:	LG 3:

Figura 5. Combinación grupo de carriles.

Fuente. Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

1.3.2 Módulo de flujo de saturación

Así mismo, es pertinente definir la tasa de flujo de saturación y entender porque es pertinente y relevante el problema planteado (figura 6). De acuerdo con Bang, Wahlstedt, & Linse, (2016) es el flujo que se obtendría si hubiera una cola constante de vehículos y se les diera un 100 % de tiempo verde. Generalmente se expresa en vehículos por hora de verde, el tráfico se descarga a una velocidad constante (caudal de saturación) hasta que la cola se descargue, cuando se produce una disminución brusca del flujo. La velocidad de salida es menor durante los primeros segundos, mientras que los vehículos aceleran a la velocidad de funcionamiento normal, y después del final del intervalo verde, a medida que disminuye el flujo de vehículos (Bang, Wahlstedt, & Linse, 2016).

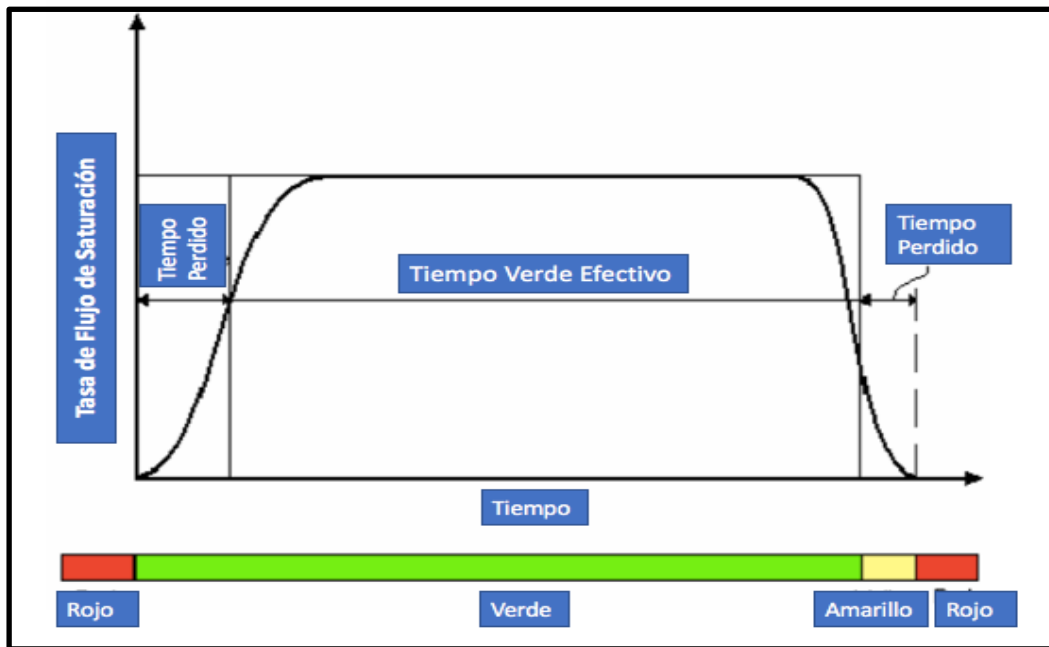


Figura 6. Variación con el tiempo de descarga de la cola en un período verde completamente saturado.

Fuente. Webster y Cobbe (1966)

Durante décadas, el término de flujo de saturación fue cambiado por diferentes investigadores. El "Manual de capacidad de carreteras HCM 2010" (Academia Nacional de Ciencias, 2010) describe la tasa de flujo de saturación como el flujo en vehículos por hora por carril, que puede acomodarse en el carril, suponiendo que la fase verde siempre esté disponible el acercamiento. La guía de capacidad Canadiense en intersecciones señalizadas (CCG), define el flujo de saturación como la tasa de descarga de cola de la

línea de parada de un carril de aproximación (Nguyen, 2016). El Informe australiano de investigación de carreteras (ARRB) define el flujo de saturación como la tasa de salida constante máxima de la cola durante el período verde, expresada en unidades a través del automóvil por hora (Jurewicz & Excel, 2016). Pero ninguna de las anteriores define la saturación o nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas con afectación de motociclistas.

La tasa de flujo de saturación calculada se conoce como la tasa de flujo de saturación "ajustada" y proporciona una variable de entrada en el cálculo de las intersecciones semaforizadas porque refleja la aplicación de varios factores que se ajustan a las condiciones específicas de la intersección sujeto de estudio (Mayor & Cardenas, 2016).

El procedimiento en este módulo se aplica a los grupos de carriles que contienen un carril exclusivo que funcionan en un modo protegido y sin interacción de peatones o bicicletas.

La ecuación 1 se usa en el cálculo de la tasa de flujo de saturación ajustada por carril en el grupo de carril de estudio así:

$$S = S_o f_w f_{hv} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad (1)$$

Donde:

S_o = tasa de flujo de saturación base por carril (autos/ hora verde/carril)

f_w = factor de ajustes por ancho de carriles

f_{hv} = factor de ajuste por vehículos pesados

f_g = factor de ajuste por pendiente de acceso

f_p = factor de ajuste por estacionamiento

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

f_a = factores de ajuste por tipo de área

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

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

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

f_{Lpb} = factor de ajuste por peatones para vueltas vehiculares a la izquierda

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

1.3.2.1 Duración de la fase de semáforo

La duración de una fase de semáforo depende del tipo de control utilizado en la intersección a estudiar. Si la intersección tiene un control predeterminado, la duración de la fase es una entrada y este pasó se omite.

La duración de una fase accionada se compone de cinco períodos de tiempo según el “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010” (Academia Nacional de Ciencias EE.UU., 2010). El primer período representa el tiempo perdido mientras la cola reacciona a la indicación de señal que cambia a verde. El segundo periodo representa el tiempo requerido en borrar la cola de vehículos. El tercer período representa el momento en que la indicación verde se extiende por vehículos que llegan al azar. Finaliza cuando hay una brecha en el tráfico (es decir, falta de espacio) o el verde se extiende hasta el límite máximo (es decir, máximo fuera). El cuarto período representa el intervalo de cambio amarillo, y el quinto período representa el intervalo de espacio rojo. La duración de una fase accionada se define mediante la ecuación 2.

$$D_p = L_1 + g_s + g_e + Y + R_c \quad (2)$$

Donde:

D_p = duración de la fase,

L_1 = hora perdida de puesta en marcha = 2.0 (s),

g_s = tiempo (s) del servicio de cola,

g_e = tiempo (s) de extensión verde,

Y = intervalo (s) de cambio amarillo, y

R_c = intervalo (s) rojo (s) de liberación.

La relación de las variables en la ecuación 2 se muestra en la figura 7 mediante el uso de un polígono de acumulación de cola.

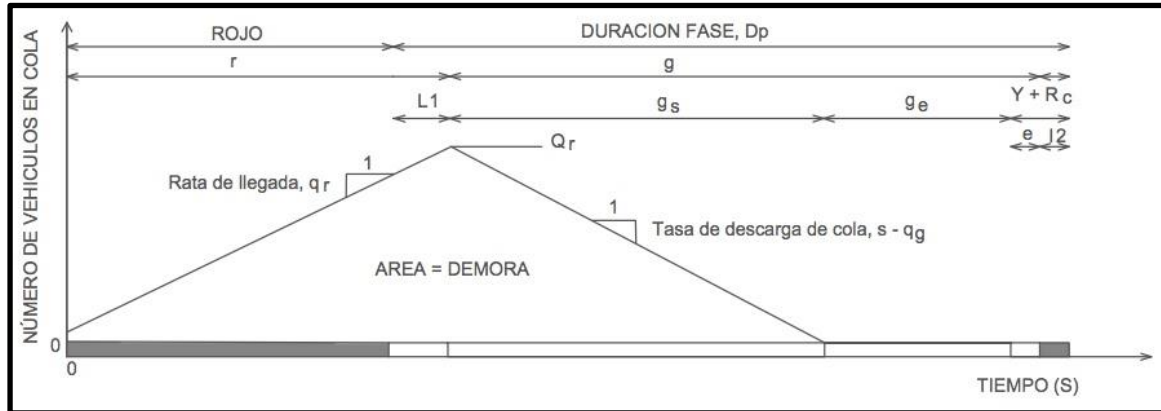


Figura 7. Polígono de acumulación de cola.

Fuente. Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010 Capítulo 18

1.3.3 Módulo de análisis de capacidad

La capacidad de un determinado grupo de carriles que atiende un movimiento de tránsito se obtiene del resultado obtenido de los módulos anteriores y la capacidad de cada grupo de carriles se calcula a partir de la ecuación 3.

$$C_i = N_s (g/c) \quad (3)$$

Donde

C_i = capacidad (veh / h).

g = tiempo verde efectivo para la fase de semáforo.

N = Número de carriles.

S = Flujo de saturación.

C = longitud del ciclo.

Esta ecuación no se puede usar en el cálculo de la capacidad de un grupo de carriles de carril compartido o un grupo de carriles con la operación de giro a la izquierda permitida porque estos grupos de carriles tienen otros factores que afectan su capacidad. La relación

de volumen y capacidad de un grupo de carriles se define cómo la relación entre el volumen del grupo de carriles y su capacidad. Se calcula usando la ecuación 4.

$$X = (v/c) \tag{4}$$

Donde

X = Relación volumen-capacidad.

v = Velocidad de flujo (veh / h).

c = Capacidad (veh / h).

1.3.3.1 Identificación de grupos de carriles críticos

El cálculo de la relación crítica del volumen de una intersección a capacidad requiere la identificación de las fases críticas. Esta identificación comienza mapeando todos los movimientos de tráfico a un diagrama de doble anillo.

La relación de flujo del grupo de carril se calcula en cada grupo de carril atendido por la fase. Si un grupo de carril se sirve solo durante una fase pre ajustada, entonces su relación de flujo se calcula cómo la velocidad de flujo del grupo de carril (por carril) dividida por la velocidad de flujo de saturación del grupo de carriles [es decir, $v_i / (N_{si})$] (Martínez & Martínez, 2012). Si se estudia un grupo de carril durante múltiples fases, se computa una relación de flujo en cada fase. Específicamente, la tasa de flujo de demanda y la tasa de flujo de saturación que se producen durante una fase determinada se utilizan en el calculo de la relación de flujo del grupo de carril en esa fase (Cal y Mayor & Cardenas, 2016).

De esta manera, la intersección se evalúa identificando las fases críticas. Esta evaluación comienza con el par en el grupo 1 y continúa con el par en el grupo 2. Cada grupo representa un posible camino crítico. Las relaciones de flujo de fase se agregan para cada par de fases en cada grupo. El mayor de los dos totales del grupo representa la ruta crítica, y las fases corresponden a la representación de las fases críticas para el par del grupo.

Finalmente, el proceso se repite en las fases del otro par de grupo. Se define un índice de flujo crítico para cada par de grupo mediante este proceso. Estos dos valores se agregan luego de obtener la suma de las relaciones de flujo crítico utilizadas en la ecuación 5. El

tiempo perdido asociado con cada una de las fases críticas se agrega de producir el ciclo de tiempo perdido L.

$$X_c = \left(\frac{C}{C-L}\right)\sum Y_{c,i} \quad (5)$$

1.3.4 Módulo de nivel de servicio

1.3.4.1 Demoras

La demora promedio en todos los vehículos que llegan durante el período de análisis. Incluye cualquier demora incurrida por estos vehículos que aún están en cola después de que finaliza el período de análisis. La demora de control de un grupo de carriles dado se calcula usando la ecuación 6 (Academia Nacional de Ciencias EE.UU., 2010).

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (6)$$

Donde

d = demora media por control (s / veh).

d_1 = demora uniforme (s / veh).

d_2 = demora incremental (s / veh).

d_3 = demora por cola inicial (s / veh).

1.3.4.2 Demora agregada

Representa una demora promedio ponderado, donde cada demora de grupo de carril se pondera por la tasa de flujo de demanda del grupo de carril. La demora de control de aproximación se calcula con la ecuación 7 (Mayor & Cárdenas, 2016).

$$d_{A,j} = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} d_i v_i}{\sum_{i=1}^{m_j} v_i} \quad (7)$$

Donde

$D_{A,j}$ = demora en el acceso j.

d_i = demora en el grupo de carril i en el acceso j (s/veh).

m_j = número de grupos de carriles en el acceso j.

Finalmente, el nivel de servicio se utiliza la tabla 2 en cada grupo de carril y en toda la intersección y así darles aceptabilidad a las demoras en la intersección. De la misma manera, también puede indicar una operación sobresaturada inaceptable en grupos de carriles individuales.

Tabla 1. Descripción del nivel de servicio de intersecciones semaforizadas

Nivel de Servicio	Características de la Operación	Demora (segundos)
A	Baja demora, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos. Los vehículos no se detienen.	≤ 10
B	Ocurre con una buena sincronía y ciclos cortos. Los vehículos empiezan a detenerse.	$>10-20$
C	Ocurre con una sincronía regular o ciclos largos; los ciclos individuales: empiezan a fallar.	$>20-35$
D	Empieza a notarse la influencia de congestionamientos ocasionados por un ciclo largo y/o una sincronía desfavorable o relaciones v/c altas, muchos vehículos se detienen.	$>35-55$
E	Es el limite aceptable de la demora; indica una sincronía muy pobre, grandes ciclos y relaciones v/c mayores, las fallas en los ciclos son frecuentes.	$>55-80$
F	El tiempo de demora es inaceptable en la mayoría de los conductores, ocurren cuando los valores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c son menores de 1.00 pero con una sincronía muy deficiente y/o ciclos demasiados largos.	>80

Fuente. Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2010

Capítulo II

2 Metodología

2.1 Objetivos

2.2 Objetivo general

Determinar qué efectos en las intersecciones semaforizadas provocan los motociclistas (casos de estudio en intersecciones semaforizadas en la ciudad de Bogotá) en el nivel de servicio y capacidad vial con alto índice de accidentalidad.

2.3 Objetivos específicos

2.3.1 Objetivo 1

Llevar a cabo un análisis con base en una revisión bibliográfica de los impactos del Código Nacional de Tránsito de Colombia en las intersecciones semaforizadas afectadas por motociclistas con alto índice de accidentalidad determinando 4 intersecciones semaforizadas en los casos de estudio (Ley 769 de, 2002).

2.3.2 Objetivo 2

Recolección de datos (condiciones geométricas, condiciones de tránsito, condiciones de semaforización) y así describir la capacidad y el nivel de servicio utilizando la metodología del “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010” de 4 intersecciones semaforizadas afectadas por la presencia de motociclistas con alto índice de accidentalidad en la ciudad de Bogotá.

2.3.3 Objetivo 3

Llevar a cabo la simulación de los volúmenes de las intersecciones semaforizadas afectadas por la presencia de motociclistas en el *Software* VISSIM obteniendo las demoras y por ende su nivel de servicio.

2.3.4 Objetivo 4

Obtener el coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico (norma INVE-792-13) de la pintura utilizada en la señalización horizontal de las 4 intersecciones semaforizadas de los casos de estudio.

2.4 Pregunta de investigación

¿Qué efecto tiene la presencia de motociclistas en el nivel de servicio y capacidad vial en intersecciones semaforizadas con alto índice de accidentalidad en Bogotá?

2.5 Enfoque investigativo

La presente investigación es de tipo mixto, que implica un proceso de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en el mismo estudio respondiendo a la afectación de motociclistas en el nivel de servicio de intersecciones semaforizadas.

De tal manera, que implica recolección, análisis e integración de los datos cualitativos y cuantitativos generando inferencias mixtas utilizando de manera simultánea 4 intersecciones semaforizadas en la ciudad de Bogotá guiado por el propósito de medir su nivel de servicio con la afectación de motociclistas y así tener una perspectiva más amplia del problema y acceder a datos más “ricos” con mayor solidez y rigor, extrayendo el significado de los datos, mediante un proceso secuencial, deductivo y analizando múltiples realidades subjetivas con precisión y riqueza interpretativa. De esta manera, se identificará el impacto del Código Nacional de Tránsito de Colombia en las intersecciones semaforizadas, y se obtuvieron los datos de comparendos y accidentes de la Secretaría de Movilidad de Bogotá, examinando el comportamiento de los motociclistas y finalmente cómo aplicar el “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010” en el nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas en hojas de cálculo y terminando con la simulación en el programa VISSIM (Ley 769 de, 2002).

2.6 Objetivo 1

2.6.1 Población:

El presente objetivo se encuentra orientado a definir el impacto que tiene la aplicación del Código Nacional de Tránsito de Colombia en las intersecciones semaforizadas con índice de accidentalidad (Ley 769 de, 2002).

- Homogeneidad: Se realiza una revisión bibliográfica y del estado del arte, y se obtuvieron experiencias de la puesta en marcha del Código Nacional de Tránsito de Colombia y su aplicabilidad en las intersecciones semaforizadas.
- Tiempo: Se realiza utilizando estadísticas de accidentes y comparendos ocurridos en horas pico y hora valle de la ciudad de Bogotá.
- Espacio: Se realiza el estudio en la ciudad de Bogotá.
- Cantidad: Se toman estadísticas de comparendos y accidentalidad en la ciudad de Bogotá.

2.6.2 Selección

Probabilístico: Se toman estadísticas de la Agencia de Seguridad Vial, Ministerio de Transporte, Policía Nacional, Alcaldía de Bogotá y demás organismos que agrupen resultados y balances de accidentes de motociclistas en la ciudad de Bogotá. Además, se obtendrán resultados de comparendos de motociclistas en la no observancia de normas de tránsito.

Propositivo: Se utilizaron las estadísticas determinando las intersecciones con mayor índice de accidentalidad y la no observancia de normas de tránsito en motociclistas.

2.7 Objetivo 2

2.7.1 Población

El presente objetivo se encuentra orientado a la recolección de datos cómo son: condiciones geométricas, condiciones de tránsito y condiciones de semaforización, definiendo la capacidad y el nivel de servicio en los casos de estudio de las intersecciones semaforizadas en la ciudad de Bogotá afectadas por motociclistas.

- **Homogeneidad:** Se utilizaron datos de volúmenes (aforos) y estadísticas de la Secretaría de Movilidad entre 2015 y 2016. De la misma manera, se realizó un inventario de las señales horizontales y verticales de cada una de las intersecciones.
- **Tiempo:** Se realiza en horas pico y hora valle de la ciudad de Bogotá.
- **Espacio:** Se realiza en la ciudad de Bogotá.
- **Cantidad:** Se toman cuatro intersecciones en la ciudad de Bogotá.

2.7.2 Selección

- **Probabilístico:** Se seleccionaron cuatro intersecciones semaforizadas aleatoriamente de cuatro localidades de la ciudad de Bogotá D.C. con estadísticas de alto índice de afectación de motociclistas y accidentes frecuentes.
- **Propositivo:** Utilizando las bases de datos de accidentes y aforos de la Secretaría de Movilidad se utilizará la metodología del “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010” calculando la capacidad y el nivel de servicio de los casos de estudio y verificar si existe afectación por parte de los motociclistas en las intersecciones estudiadas.

2.8 Objetivo 3

2.8.1 Población

El presente objetivo se encuentra orientado a obtener el nivel de servicio y longitud de cola máxima en 4 intersecciones semaforizadas en la ciudad de Bogotá afectadas por motociclistas utilizando el *software* VISSIM:

- **Homogeneidad:** Se utilizó el *software* VISSIM de las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Julio Garavito introduciendo los datos de la Secretaría de Movilidad de Bogotá D.C. Así mismo realizando una comparación de los cálculos arrojados por el *software* con motos y sim motos.
- **Tiempo:** Se realizó la modelación en horas pico en el *software* VISSIM de acuerdo con el horario de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y solicitando una licencia de tesis.

- **Espacio:** Se realizó en las aulas de sistemas de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y con una estación remota accediendo desde el lugar de estudio del estudiante.
- **Cantidad:** Se tomaron dos equipos de cómputo uno donde se desarrollarán las intersecciones (personal) y el otro ubicado en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito donde se desarrollará el modelamiento (estación remota)

2.8.2 Selección

- **Probabilístico:** Se utilizaron las intersecciones casos de estudio realizadas en el objetivo 2 introduciendo los datos de la Secretaría de Movilidad de Bogotá D.C.
- **Propositivo:** Se modelaron los datos en el *software* VISSIM determinando la longitud de cola máxima y nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas con afectación de motociclistas con el fin de conocer el efecto que tiene las motos en estas.

2.9 Objetivo 4

2.9.1 Población

El presente objetivo se encuentra orientado a obtener el coeficiente de resistencia al deslizamiento en 4 intersecciones semaforizadas en la ciudad de Bogotá afectadas por motociclistas con alto índice de accidentalidad:

- **Homogeneidad:** Se utilizaron el péndulo británico de acuerdo con la norma INVE - 792-13 de la Escuela de Ingeniería Julio Garavito. De tal forma realizando los ensayos sobre la pintura de la señalización vertical y pavimento de las intersecciones en estudio.
- **Tiempo:** Se realizaron los ensayos desde las 23:00 horas hasta las 03:00 horas con apoyo de la Policía Nacional y un técnico de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- **Espacio:** Se realizó en las cuatro intersecciones de estudio en la ciudad de Bogotá D.C.

- **Cantidad:** Se tomó un equipo péndulo británico con el cual se desarrollaron doce ensayos sobre las intersecciones semaforizadas casos de estudio.

2.9.2 Selección

- **Probabilístico:** Se utilizaron las intersecciones casos de estudio realizadas en el objetivo 2 en la ciudad de Bogotá.
- **Propositivo:** Se realizaron los ensayos de coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico (norma INVE-792-13) determinando si la pintura de la señalización vertical y el pavimento en las intersecciones de estudio cumplen con los valores de deslizamiento y fricción aceptados por normas internacionales cómo son del Reino Unido.

Capítulo III

3 Resultados y Contribución

3.1 Distribución espacial

Hoy en día, la ciudad de Bogotá se divide en unidades zonales de planificación urbana (UPZ, Unidades de Planeamiento Zonal), que son similares en términos de características urbanas tales como uso de la tierra o actividades, altura de edificios, estado de las carreteras, aceras y espacios públicos. Por otro lado, la aglomeración urbana fuera de Bogotá no tiene una organización institucional y cada uno de los 12 municipios contiguos aún toma decisiones autónomas (figura 8). Estas otras áreas se extienden a través de 1,194 km² con una población de 1,22 millones de habitantes (Guzmán, Gómez, & Rivera, 2017).

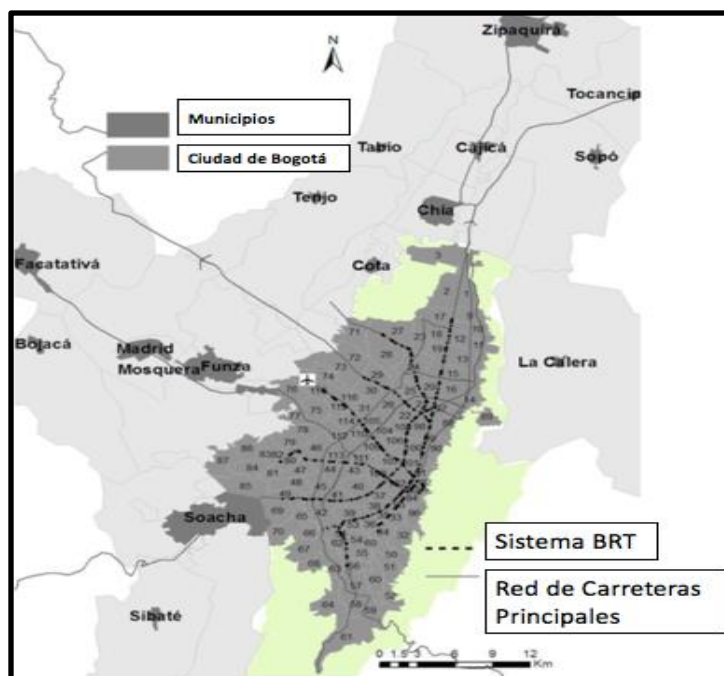


Figura 8. Estudio de área región de Bogotá.

Fuente. Guzmán, Gómez, & Rivera, 2017.

La distribución espacial de la población y las actividades muestran diferencias importantes en toda la ciudad. Los sectores más densos se ubican en las zonas de bajos ingresos, asentadas en el límite sur y oeste del área urbana, que pueden alcanzar densidades de

hasta 75,000 hab. / km². Estos sectores están compuestos tanto de áreas consolidadas como de nuevos asentamientos, generalmente aquellos de origen informal. Por otro lado, los sectores norte y central de la ciudad se caracterizan por desarrollos de gran altura, menores densidades de población (13,000-30,000 hab. / km²) y una alta concentración de empleo formal.

Bogotá es una ciudad compacta y densa con una población en rápido crecimiento. Tenía 6.8 millones de habitantes en 2011 (1.3 millones más que en 2000), repartidos en un área de 365 km² (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011). Esto se traduce en una densidad de población de casi 20.800 habitantes por km² lo que la convierte en una de las ciudades más densamente pobladas del mundo (figura 9).

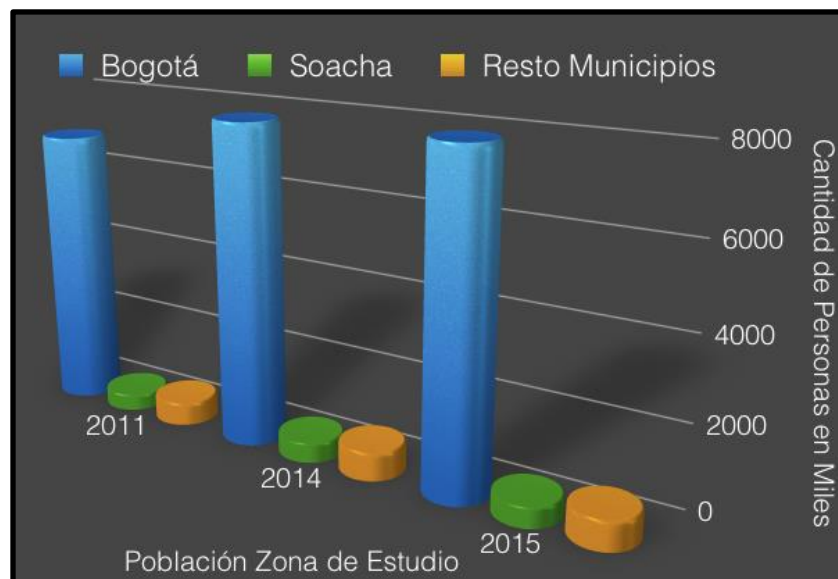


Figura 9. Población zona de estudio entre los años 2011, 2014 y 2015.

Fuente. Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015.

La participación por estrato socioeconómico de la vivienda se mantiene constante comparado con los valores obtenidos del año 2011 y 2015 (figura 10). En las localidades de Suba, Kennedy y Engativá ubicadas en el occidente de la ciudad se encuentra el mayor número de hogares. Candelaria, Santa Fe, Los Mártires y Antonio Nariño, localidades menos extensas, ubicadas en el centro histórico cuentan con menos hogares.



Figura 10. Distribución porcentual de la población de Bogotá por estratos.

Fuente. Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011.

Socioeconómicamente hablando, se puede analizar que el 86 % de los bogotanos se ubica en los estratos 1, 2 y 3 al estrato 4 pertenece el 9 % de la población y sólo el 4 % constituye el estrato 5 y 6. Este 4 % predominantemente vive en apartamentos, lo que se puede explicar es porque el número de miembros promedio no supera las tres personas (figura 11). Mientras que los estratos más bajos viven en casas y el promedio de miembros por hogar, supera las 4 personas.

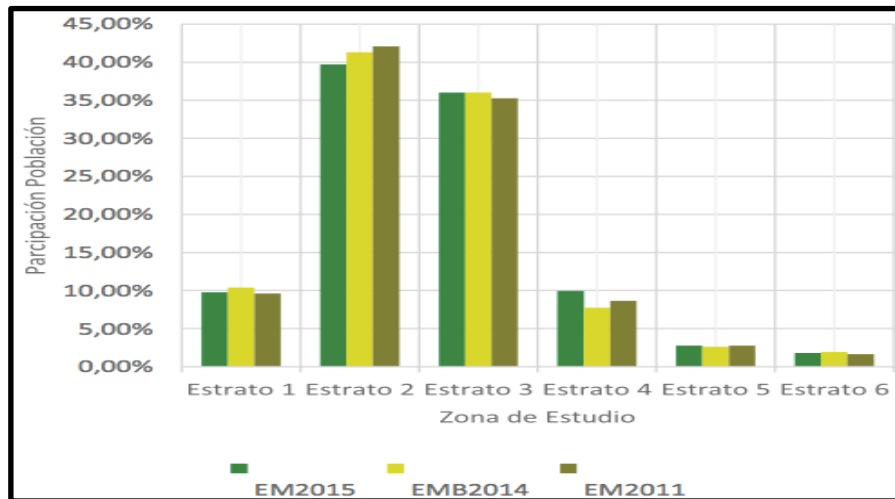


Figura 11. Distribución población por estrato socioeconómico.

Fuente. Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015

La tasa de Motorización según los datos recolectados se estimó que hubo un aumento del 37,85 % y la tasa de motorización de los hogares incremento en un 24,61 %. En Bogotá,

las localidades de Santa Fe, Usme, Candelaria, Rafael Uribe y Ciudad Bolívar, se registró en promedio un vehículo por cada 3 hogares, mientras en Usaquén, Chapinero, Suba y Teusaquillo el promedio es de un vehículo por hogar (tabla 4).

Tabla 2. Tasa de Motorización

	2011	2015
Numero de Automóviles en Bogotá	996.184	1.373.321
Tasa de Motorización de los Hogares por cada 100 habitantes	130	162

Fuente. Encuesta Movilidad 2011-2015

Las motocicletas son el primer pasó en un camino de propiedad vehicular. De acuerdo con los datos recolectados en Bogotá y los municipios vecinos existen 265.633 motos en 2011 con un incremento del 21 % en el 2015 (figura 12). Lo que implica una tasa de 34 motos por cada 1000 habitantes. Seguido de los camperos con un 14,6 %. El 93 por ciento del total se identifican en hogares de estrato 1,2 y 3 en 2011.

La tenencia de motos presenta un rango inverso al de automóviles al analizarlo por estrato; en el estrato 1 se encuentra una moto por cada 24 personas y en el 6 una por cada 63, a diferencia del año 2015 la moto mantiene el mayor porcentaje de participación en el estrato 1 y en los estratos 2 y 3 se destaca el incremento de más del 10 % en la participación de las motos mientras en los estratos 4 al 6, el incremento es inferior al 7 %. En el 6 no se evidencia modificación en la participación por tipo de vehículo.

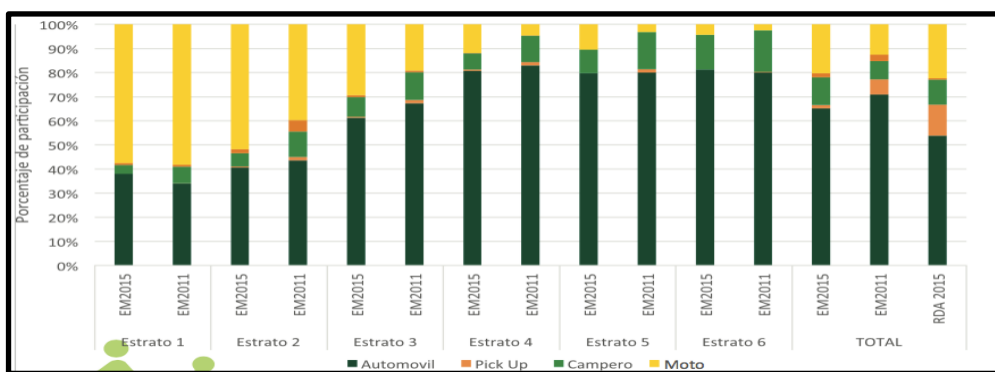


Figura 12. Indicador distribución vehículo motorizado por estrato de la vivienda.

Fuente. Encuesta Movilidad entre los años 2011 y 2015.

De acuerdo con los datos arrojados por las encuestas, es interesante constatar que la mayor cantidad de vehículos motorizados en 2011 se concentra en hogares de estratos 2 y 3 pero en 2015 está cifra cambio y la concentración se forma en los estratos 4, 5 y 6. Además, en 2015 la participación del automóvil subió un 11 % comparado con el 2011.

Es de resaltar que en las dos encuestas coinciden en afirmar que el 90 por ciento de las motos es de propiedad de miembros de hogares que viven en inmuebles de estrato 1,2 y 3. La propiedad de los vehículos de trabajo cómo lo son los taxis y los camiones se concentran en hogares de estrato 2 y 3.

3.1.1 Indicadores de movilidad

La movilidad de la población en el espacio urbano, permite materializar la relación de los diferentes roles de cada individuo, tales cómo:

Primer rol son estilos de vida en un contexto de división funcional en las unidades familiares. Segundo rol son las actividades y espacios cotidianos. El tercer rol es la división funcional tanto del espacio cómo de la estructura urbana y metropolitana (Matiz, 2014). Adicionalmente, “la movilidad se devela cómo un problema central en la ciudad” (Amézquita, Durán Matiz, & Fajardo Morales, 2016). Debido a que la movilidad se concibe cómo un medio a través del cual se permite un desplazamiento de un lugar a otro con un objetivo en específico, donde se reconoce el desarrollo de las diferentes actividades de la sociedad enmarcada por un contexto local.

En el año 2011 no se encontraba en funcionamiento el sistema integrado de transporte público y fue puesto en marcha en 2012 y el 2015 se llevaba un 83 % de su implementación y el sistema zonal contaba con 7.313 buses en operación, 6.787 paraderos y 4.342 vehículos chatarrizados. Así mismo, se prestaba servicio a través de 232 rutas urbanas, 29 rutas complementarias y 16 rutas especiales (Alcaldía Mayor de Bogota, 2015).

Entre el 2011 y 2015 ya existía el pico y placa que, desde agosto de 1998, Bogotá aplica una restricción al uso de vehículos, aliviando la congestión vehicular. Se establecieron las franjas horarias y días, según los números de las placas; se extendió en días en julio entre 2002 y junio de 2004, y a todo el día en enero de 2009 (Ferrari, 2014).

La distribución de los viajes en las zonas estudiadas entre el 2011 y 2015 es la típica de todas las áreas urbanas, con picos marcados en la mañana, mediodía y tarde, en intervalos que van de 6:15 a 7:15, de 11:45 a 12:45 y de 17:30 a 18:30.

La movilidad es el resultado de las actividades cotidianas en las cuales las personas se desplazan de un lugar a otro, se analizan los viajes a lo largo de un día hábil entre el 2011 y 2015, observando que los viajes disminuyeron en un -2,89 % (tabla 5).

Tabla 3. Comparativo total viajes y etapas.

	2011	2015
<i>Total de Viajes</i>	17.611.061	17.102.270
<i>Total de Etapas</i>	27.867.692	31.124.858

Fuente. Elaboración a partir de Encuestas de movilidad entre los años 2011 y 2015.

Analizando la distribución de los viajes en todos los modos. Durante la mañana, periodo de máxima demanda, se alcanza una cifra de 1.800.000 viajes aproximado en auto que se mantiene entre 2011 y 2015, a igual que los viajes del Sistema de Transporte Masivo de 3.602.986 al 2015 en 3.820.451 con una variación de 2,04 % (tabla 6). Viéndose un aumento del 144 % y 70 % del alimentador e intermunicipal ya que no se encontraba en su total funcionamiento, lo que se entiende dado que la mayoría de personas debe cumplir con horarios, situación que obliga a un alto porcentaje de la población a viajar de forma simultánea. En ese sentido es importante resaltar que los viajes que tiene como inicio municipios diferentes a Bogotá y Soacha alcanzan un porcentaje cercano al 10 por ciento del total de viajes diarios. Así mismo, se analiza cómo la moto en 2015 supera el auto y los demás modos de transporte personal con una diferencia de 99,49 % con el año 2011.

Tabla 4. Cantidad de etapas y viajes por medio de transporte de la zona de estudio.

Medio de transporte	ETAPAS			VIAJES		
	2015	2011	% Variación	2015	2011	% Variación
Peatón	15.392.058	16.784.121	-8,29%	5.554.810	8.136.778	-31,73%
TPC-SITP	4.934.092	3.890.558	26,82%	3.820.451	3.602.986	6,04%
Transmilenio	3.049.395	1.682.840	81,21%	2.289.893	1.494.082	53,26%
Auto	2.130.601	1.848.111	15,29%	1.851.479	1.818.499	1,81%
Alimentador	1.325.592	863.782	53,46%	221.646	90.669	144,47%
Intermunicipal	355.088	254.841	39,34%	185.482	109.104	70,00%
Moto	1.021.982	412.674	147,65%	819.135	410.613	99,49%
Bicicleta	908.768	614.713	47,84%	784.502	611.343	28,32%
Taxi	900.831	674.932	33,47%	719.202	610.243	17,86%
Especial	800.062	482.078	65,96%	663.196	467.236	41,94%
Ilegal / informal	182.251	222.534	-18,10%	97.310	153.357	-36,55%
Otros	124.138	136.508	-9,06%	95.164	106.151	-10,35%
TOTAL	31.124.858	27.867.692	11,69%	17.102.270	17.611.061	-2,89%

Fuente. Elaboración a partir de las encuestas de movilidad entre los años 2011 y 2015

También, se analiza que mientras en 2011, el 90,6 % de los viajes en transporte público (Transmilenio, SITP - TPC y taxi) se realizaban en una etapa, en 2015 el valor baja al 77,4 %. (Alcaldía Mayor de Bogota, 2015).

3.1.2 Tasa de viajes en motocicletas

El número de viajes de motocicleta en un día típico supera los 400 mil. en los viajes de moto en el año 2015. Se obtuvo una tasa de viajes 2 veces mayor en promedio a la obtenida en 2011 (Alcaldía Mayor de Bogota, 2015). Adicionalmente, se destaca el aumento de la tasa de viajes del estrato 2 por encima de los demás estratos (figura 13).

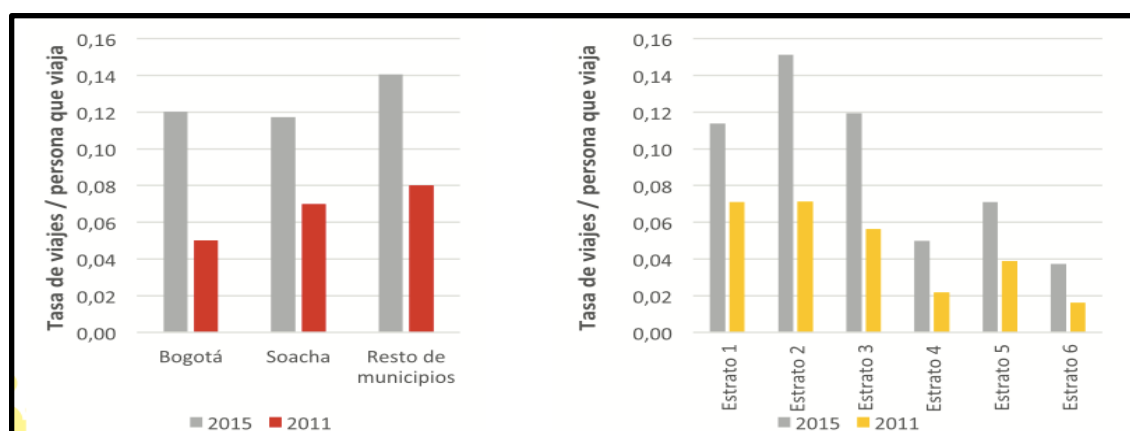


Figura 13. Tasa de viajes en moto.

Fuente. Elaboración a partir de las Encuestas de Movilidad entre el 2011 y 2015

Sumadas las horas pico de la mañana y de la tarde se pueden contabilizar aproximadamente 85.000 viajes: en 2011; es evidente un pico hacia las 21:00 horas que puede explicarse por la terminación de la jornada de estudiantes o trabajadores. A diferencia del 2015 que los picos están a las 06:00 am y a las 18:00 pm (figura 14).

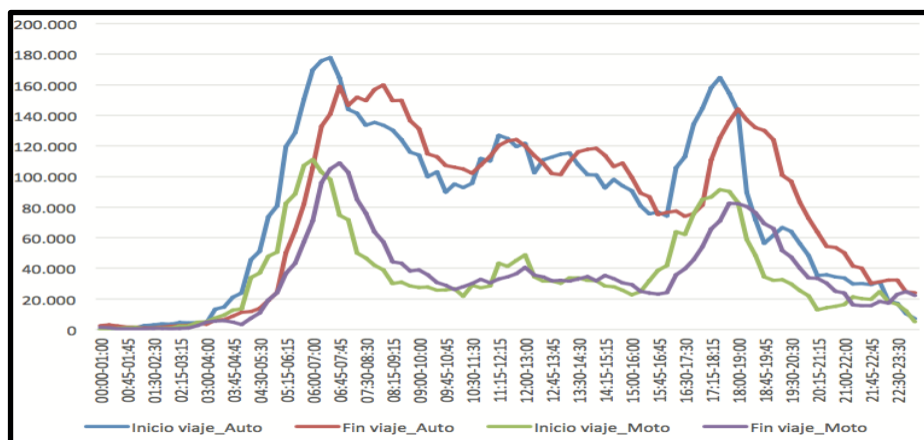


Figura 14. Distribución horaria de viajes en moto.

Fuente. Encuesta de movilidad Bogotá (2015).

3.1.3 Tasa de viajes en automóvil particular

La participación del automóvil en 2015 es superior un 11 % comparado con el año 2011 destacándose una disminución del uso del carro en el estrato 6 en aproximadamente un 10 % de los viajes (figura 15). Así mismo los rangos de edad donde se evidencia la mayor utilización del automóvil es entre los 25 y 44 años (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

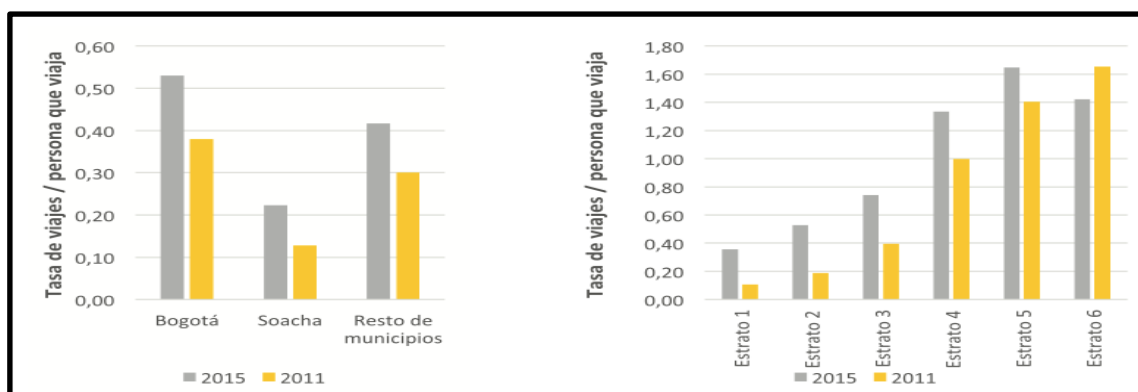


Figura 15. Tasa de viajes en automóvil (2011-2015).

Fuente. Elaboración a partir de encuestas de movilidad Bogotá entre el 2015 y 2011

En el año 2011 el intervalo comprendido entre las 6:15 y las 7:15 de la mañana se constituye en el periodo de máxima demanda. A diferencia del año 2015 la máxima demanda se presenta entre las 6:30 y 7:30 horas. Corriéndose 15 minutos el periodo de máxima demanda. Se calcula que en este lapso pueden comenzar 160.000 viajes (figura 16).

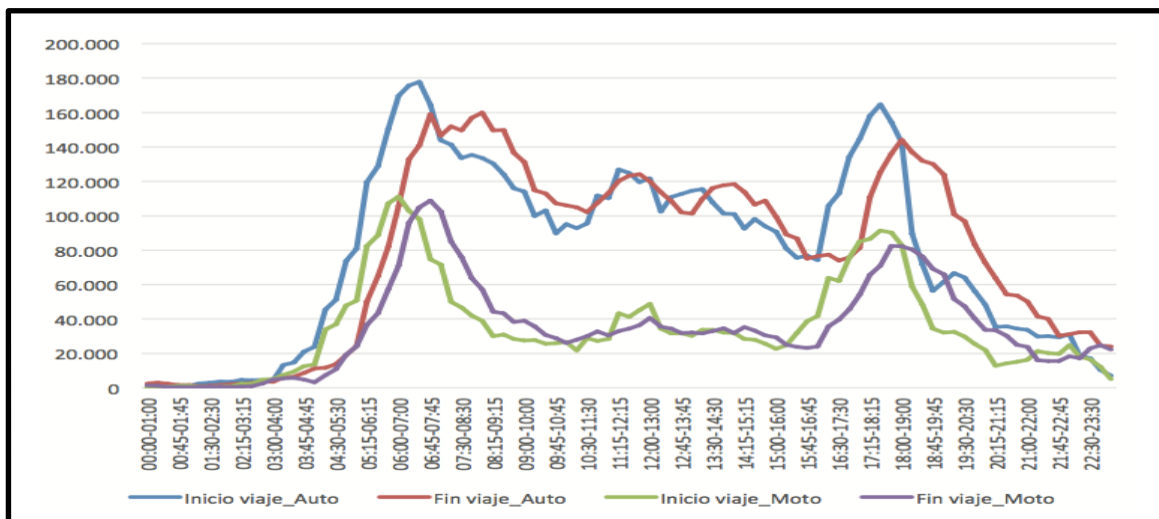


Figura 16. Distribución horaria en viajes automóvil.

Fuente. Encuesta de movilidad Bogotá 2015

Además, el automóvil abarca el 10 % de todos los viajes y ocupa el 90 % de la red vial de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014).

3.1.4 Transporte intermunicipal

El total de viajes entre el año 2011 fueron 109.104 y el 2015 fueron 185.482 intermunicipales en un día hábil típico según la Secretaría de Movilidad de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014). El transporte intermunicipal tiene un aumento del 18 % lo que se analiza es la aplicación de muchas más rutas de colegios y empresas hacia los municipios alrededor de Bogotá.

En 2015, se observa un periodo de alta demanda un poco antes de las 5:00 am, pero luego otro hacia las 8:30 am. Sin embargo, este último solo se da desde los municipios diferentes de Bogotá y Soacha. En la tarde es más importante el movimiento intermunicipal con origen en Bogotá y Soacha. (figura 17), presentando demandas máximas en las horas de la mañana, pero mantienen un comportamiento constante a lo largo del día.

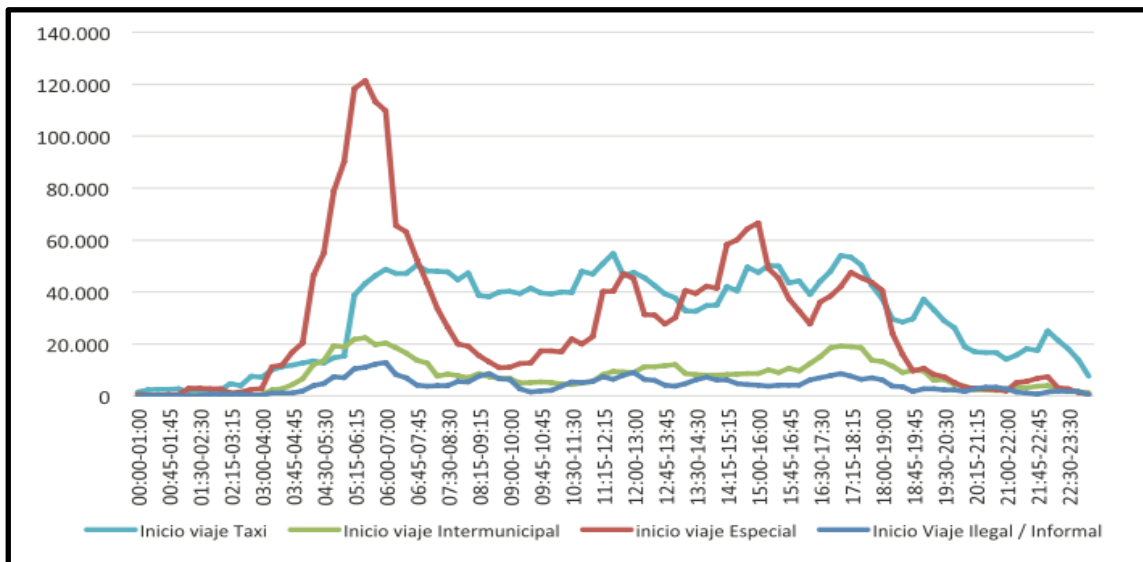


Figura 17. Distribución de viajes intermunicipal.

Fuente. Encuesta de Movilidad Bogotá 2015

3.1.5 Partición modal

Según cifras de movilidad en Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014), los modos más empleados son:

- Caminata con el 46 %
- Transporte público con el 20 %.
- El transporte público colectivo con el 9 % (Transmilenio)
- Transporte intermunicipal con un 1 %.
- El automóvil particular capta el 10 % de los viajes y el taxi el 4 %
- La motocicleta con un 10 % marcando la diferencia de todos los modos.

3.1.6 Partición modal en los viajes motorizados

Se analiza que en los estratos más altos el automóvil se vuelve prioritario cómo el modo más empleado de viaje. La moto es importante en los estratos 1 y 2 pero se ve un índice de alza entre el 2011 y 2015 en los estratos 4,5 y 6 en el uso de la motocicleta. El transporte escolar y el taxi son relevantes en los estratos 3, 4, 5 y 6.

Según la Alcaldía Mayor de Bogotá los automóviles mueven el 20 % de los viajes, seguido por el taxi con el 7 %. Las motos y el transporte escolar sirven el 5 % y el 68 % lo mueve el transporte público.

Al observar el comportamiento por estrato del inmueble en donde habitan los viajeros, aparece que el transporte público es muy importante entre los estratos 1,2 y 3 pues en el mismo se realiza al menos el 60 por ciento de los viajes.

3.1.7 Partición modal en sábado

La caminata sigue siendo el modo más utilizado seguido muy de cerca por el transporte público. La participación del automóvil se duplica entre el día hábil y el sábado. Adicionalmente se puede afirmar que la ciudad se mueve a horas diferentes los sábados, se encontró que en Bogotá en un sábado se hacen aproximadamente 14 millones de viajes (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

3.1.8 Tiempo promedio de viaje en Bogotá

De forma paralela al análisis del modo o el propósito del viaje, se debe analizar los tiempos. Este es un factor importante en términos de igualdad pues es el recurso escaso que las personas aprovechan a lo largo del día.

Los resultados de las dos encuestas de movilidad realizadas entre 2011 y 2015 por parte de la Secretaría de Movilidad en Bogotá permiten observar que si es más alto el estrato del lugar de vivienda, menor tiempo de viaje en modo motorizado experimentará el viajero. La diferencia de los promedios llega a ser de más de media hora por viaje entre el estrato 1 y el 6.

Al analizar esta variable por modo se destaca que el transporte público masivo - Transmilenio, es el modo en el que el tiempo de viaje es más largo, esto se explica dado que generalmente atiende viajes de larga distancia. Esta situación se agrava en los estratos 1 y 2 que normalmente habitan más lejos de las zonas de trabajo.

La bicicleta es el modo empleado en los viajes más cortos, o en algunos casos puede ser el modo más rápido. En general el tiempo de viaje en moto y carro no es muy diferente con excepción de los viajes hechos por personas en el grupo de estrato 1, por la distancia que se debe recorrer.

3.1.9 Conclusiones

- En los últimos 5 años aumentó el número de viajes mayores a 15 minutos al pasar de 11,5 millones a 12,7 millones, lo cual representa un incremento del 10 %.
- El año 2015, se puede apreciar que el transporte público aumentó sus viajes en 21 % con respecto al 2011 y el 45 % de los viajes mayores a 15 minutos.
- El 76 % de los viajes son en modo diferente a vehículo privado.
- Al analizar estas variaciones por modo, se aprecia en la tabla 7 que disminuyeron los viajes a pie en 18 % y aumentaron los de bicicleta en 30 %. En transporte privado, el número de viajes en vehículo particular se mantiene con un leve incremento del 1 %, mientras que en motos se da un incremento del 104 % en los viajes durante estos cinco años. Con estas cifras, se podría concluir que gran parte de la disminución de los viajes a pie se debe posiblemente, a que una parte de estos ciudadanos adquirieron moto y los otros se pasaron a la bicicleta y al uso de transporte público.

Tabla 5. Numero de viajes por modo entre el 2011 y 2015

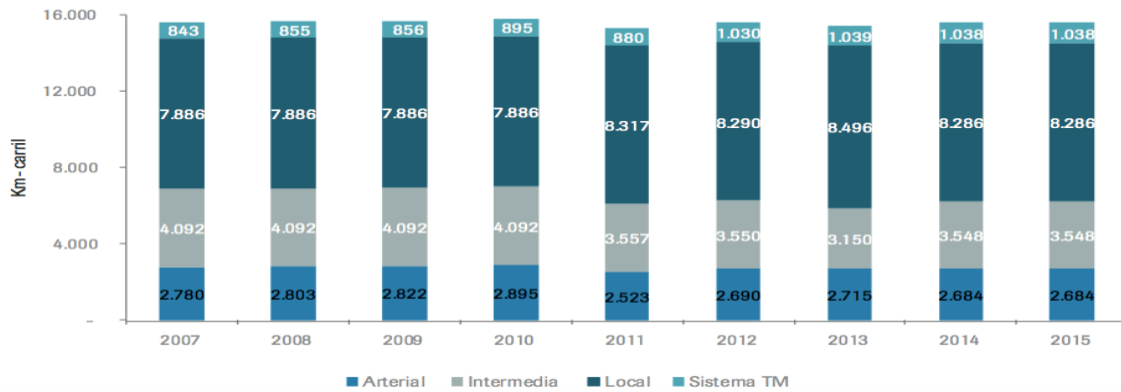
Modo	Número de viajes mayor a 15 minutos - 2011	%	Número de viajes mayor a 15 minutos - 2015	%	VARIACION	%
A pie	3.186.483	27,5%	2.623.036	20,6%	(563.447)	-18%
Bicicleta	441.135	3,8%	575.356	4,5%	134.221	30%
Taxi	594.747	5,1%	695.480	5,5%	100.733	17%
Transporte público colectivo	3.242.899	28,0%	3.405.451	26,7%	162.552	5%
Vehículo privado	1.677.884	14,5%	1.686.924	13,2%	9.040	1%
TransMilenio	1.379.549	11,9%	2.062.125	16,2%	682.576	49%
Alimentador	96.873	0,8%	221.646	1,7%	124.773	129%
Moto	343.505	3,0%	699.227	5,5%	355.722	104%
Escolar	427.475	3,7%	548.474	4,3%	120.999	28%
Intermunicipal	30.730	0,3%	60.833	0,5%	30.103	98%
Informal	98.992	0,9%	84.331	0,7%	(14.661)	-15%
Otros	67.478	0,6%	92.943	0,7%	25.465	38%
Total	11.587.750	100,0%	12.755.826	100,0%	1.168.076	10%

Fuente. Encuestas entre el 2011 y 2015

- En cuanto, a la malla vial la ciudad mantuvo la misma longitud alcanzada en 2014; es así cómo se cuenta con 15.556 km-carril, de los cuales 1.038 corresponde a la malla troncal y 14.518 a la malla mixta. De está última, el 19 % corresponde a la malla arterial, el 24 % a la malla intermedia y el 57 % a la malla local (tabla 8).

Tabla 6. Estado de la malla vial entre el 2007 y 2015

Total malla vial	2009 km-carril	2010 km-carril	2011 km-carril	2012 km-carril	2013 km-carril	2014 km-carril	2015 km-carril
Mixta	14.800	14.873	14.397	14.530	14.361	14.518	14.518
Troncal	856	895	880	1.030	1.039	1.038	1.038
Total	15.656	15.768	15.277	15.560	15.400	15.556	15.556



Fuente. Instituto de Desarrollo Urbano

Del total de los 14.518 km-carril que componen la malla vial mixta de la ciudad, el 37 % se encuentra en mal estado, 21 % en regular estado y 42 % en buen estado. La malla vial local presenta la mayor longitud de vías en mal estado, 4.060 km-carril, cerca al 50 %. Por su parte, en la malla vial arterial e intermedia predomina el buen estado con 2.013 km-carril, 75 %, y 2.164 km-carril, 61 %, respectivamente.

3.2 Selección de las intersecciones

La realización de la presente investigación se utilizó la distribución espacial en comparación con la accidentalidad en la ciudad de Bogotá y dar selección a las cuatro intersecciones semaforizadas. Los accidentes se obtuvieron a partir de bases de datos suministrados por parte de la Secretaría de Movilidad de Bogotá desde el año 2012 teniendo en cuenta que este mismo año inicio el transporte masivo Transmilenio en la ciudad, la información fue filtrada por incidentes con afectación de motocicletas, que fuera intersección y que tuviera victima leve o fatal así cómo la localidad fuese de las más accidentes reportados (tabla 9). Así mismo se da a conocer dentro de está base de datos la causa del accidente evidenciando el nivel de cumplimiento del Código Nacional de Tránsito de Colombia (Ley 769 de, 2002).

Se analizaron 6 años con información de accidentes, conductores, víctimas y condiciones de los accidentes analizando una tendencia en reducción de accidentalidad con víctimas de hospitalización y fatales involucrando motociclistas (figura 18).

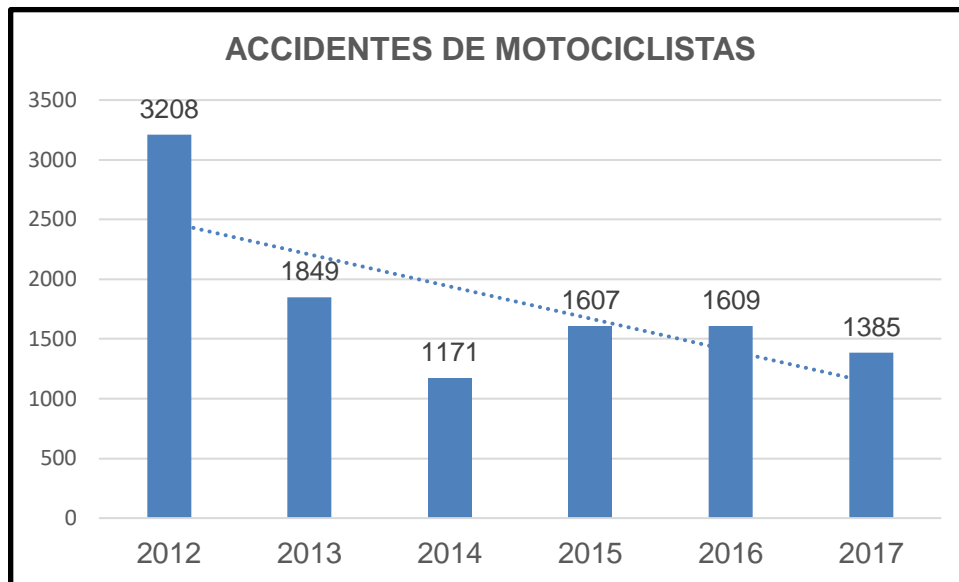


Figura 18. Accidentalidad de Motociclistas

Fuente. Elaboración propia.

No obstante, se observa que en 2012 la cifra pasaba los 3 mil accidentes esto a razón que no había cultura ni observancia del Código Nacional de Tránsito de Colombia en el uso del casco según las bases de datos de la Secretaría de Movilidad de Bogotá y ese mismo año de los 3208 accidentes reportados 613 accidentes los motociclistas no llevaban casco eso es un 16 % representado en el alto índice de accidentalidad (figura 19) (Ley 769 de, 2002).

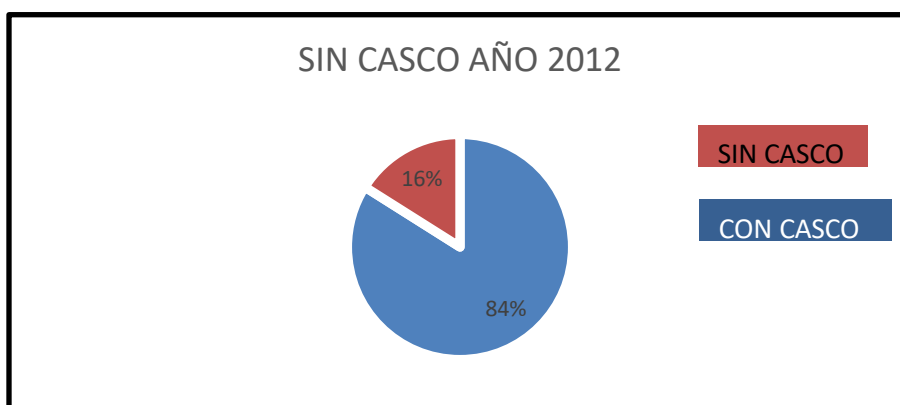


Figura 19. Uso de Casco año 2012.

Fuente. Elaboración propia.

De los accidentes de tránsito más considerables desde el año 2012 hasta 2017 (figura 20). Se encuentran el desobedecimiento de señales de tránsito, pasarse el semáforo en rojo, no respetar la prelación de intersecciones, girar bruscamente, conducir en estado de embriaguez o droga, adelantar cerrando, adelantar invadiendo vía y exceso de velocidad, lo que indica que a pesar que los accidentes van en bajada existe un desobedecimiento del Código Nacional de Tránsito de Colombia (Ley 769 de, 2002).

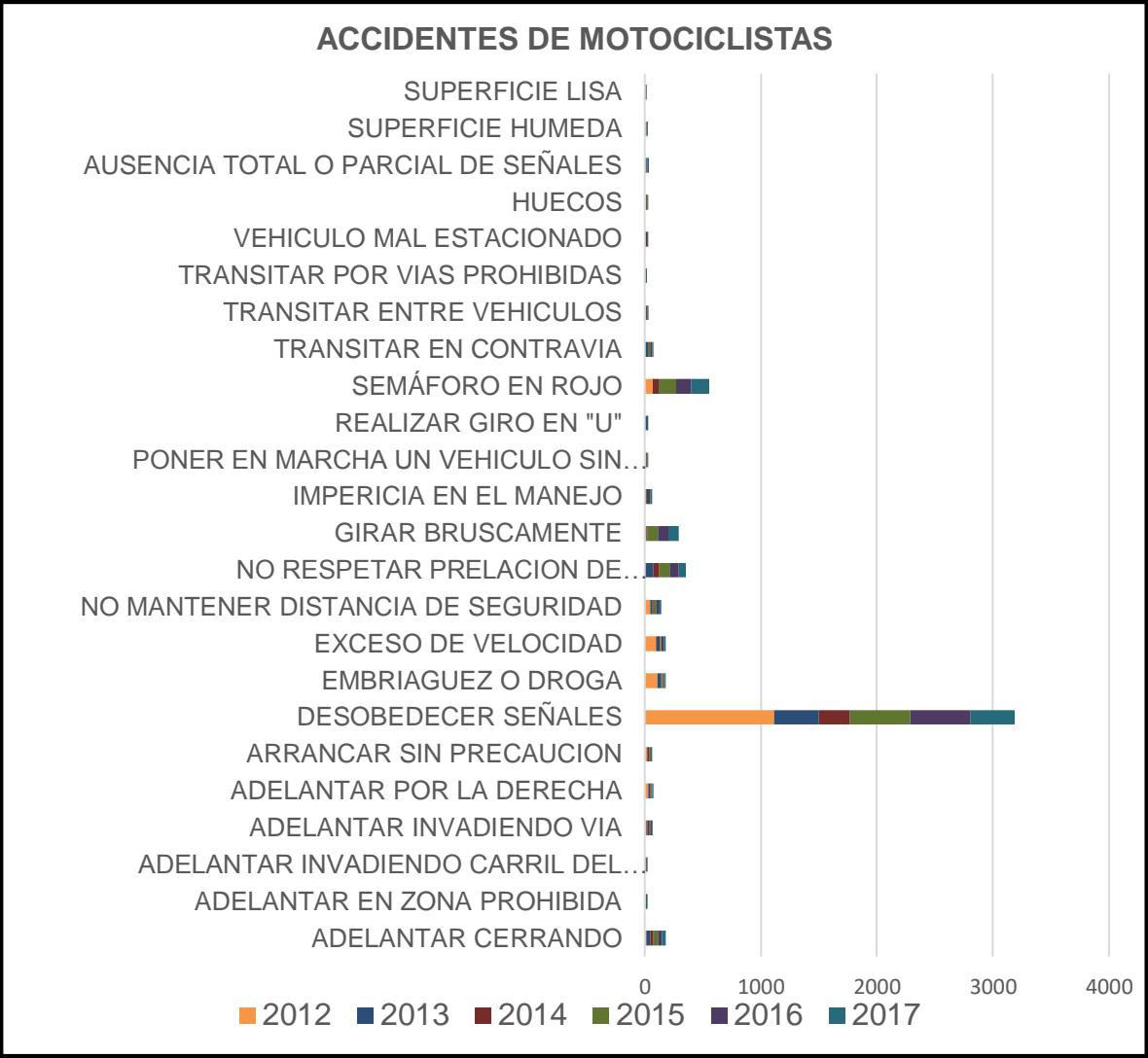


Figura 20. Accidentes de tránsito entre 2012 y 2017

Fuente. Elaboración propia.

De esta manera, los comparendos se mantienen durante los últimos años a diferencia de los accidentes que van en bajada. De esta forma, se puede analizar la falta de cultura de los motociclistas en el desobedecimiento a las normas y al incumplimiento considerable del Código Nacional de Tránsito de Colombia (Ley 769 de, 2002) (figura 21).

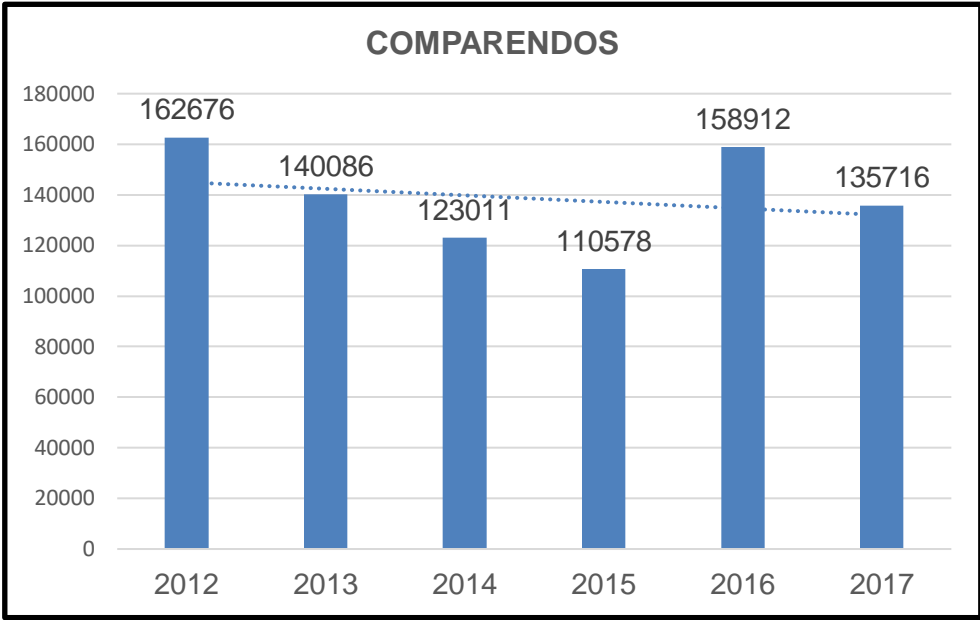


Figura 21. Comparendos de motociclistas entre el 2012 y 2017

Fuente. elaboración propia

De las infracciones de tránsito más considerables desde el año 2012 hasta 2017 (figura 22). Se encuentran el desobedecimiento de señales de tránsito, estacionarse en sitios prohibidos, no realizar la revisión técnico mecánica, no portar la licencia de conducción, transitar en sitio contrario a la vía, conducir sobre aceras, maniobras peligrosas y no acatar las señales impartidas por un agente de tránsito, lo que indica la desobediencia del Código Nacional de Tránsito de Colombia y la falta de cultura (Ley 769 de, 2002).

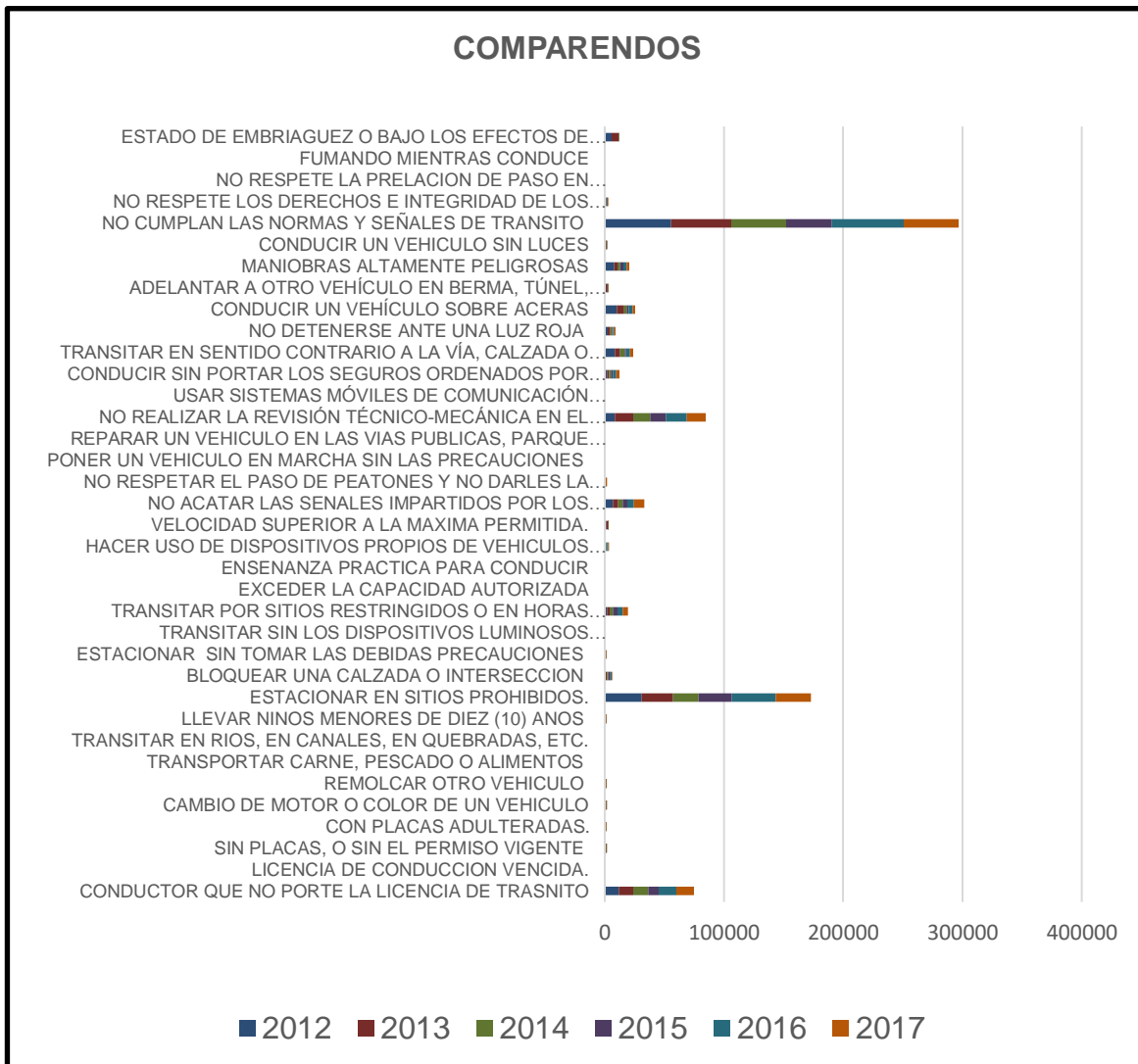


Figura 22. Infracciones de tránsito entre 2012 y 2017

Fuente. Elaboración propia.

Está cultura en el desconocimiento de las normas de tránsito se mantiene desde el año 2012 hasta la fecha a pesar de los controles por parte de la Alcaldía Mayor de Bogotá. Además, la Policía Nacional en coordinación con empresas que utilizan motociclistas, la Secretaría de Movilidad, el Ministerio de Transporte, la Agencia Nacional de Seguridad Vial y organizaciones de motociclistas realizan planes en pro de bajar estos índices de accidentalidad cómo lo demuestran actas de reunión y cartillas realizadas en la Secretaría de Movilidad impartiendo normativas y recomendaciones en el uso de este vehículo de transporte. (figura 23).



Figura 23. Cartilla de seguridad vial 2017.

Fuente. Secretaría de Movilidad de Bogotá.

3.2.1 Distribución Espacial

Revisados los datos de accidentalidad se identificaron los puntos de concentración de accidentes observando la participación de la motocicleta en la distribución espacial de la ciudad de Bogotá correlacionándose así:

Primer dato, son las unidades de planeación zonal (UPZ) de la ciudad de Bogotá. En la figura 24 se identifican los estratos sociales (Del Busto Pinzón & de Souza, 2016).

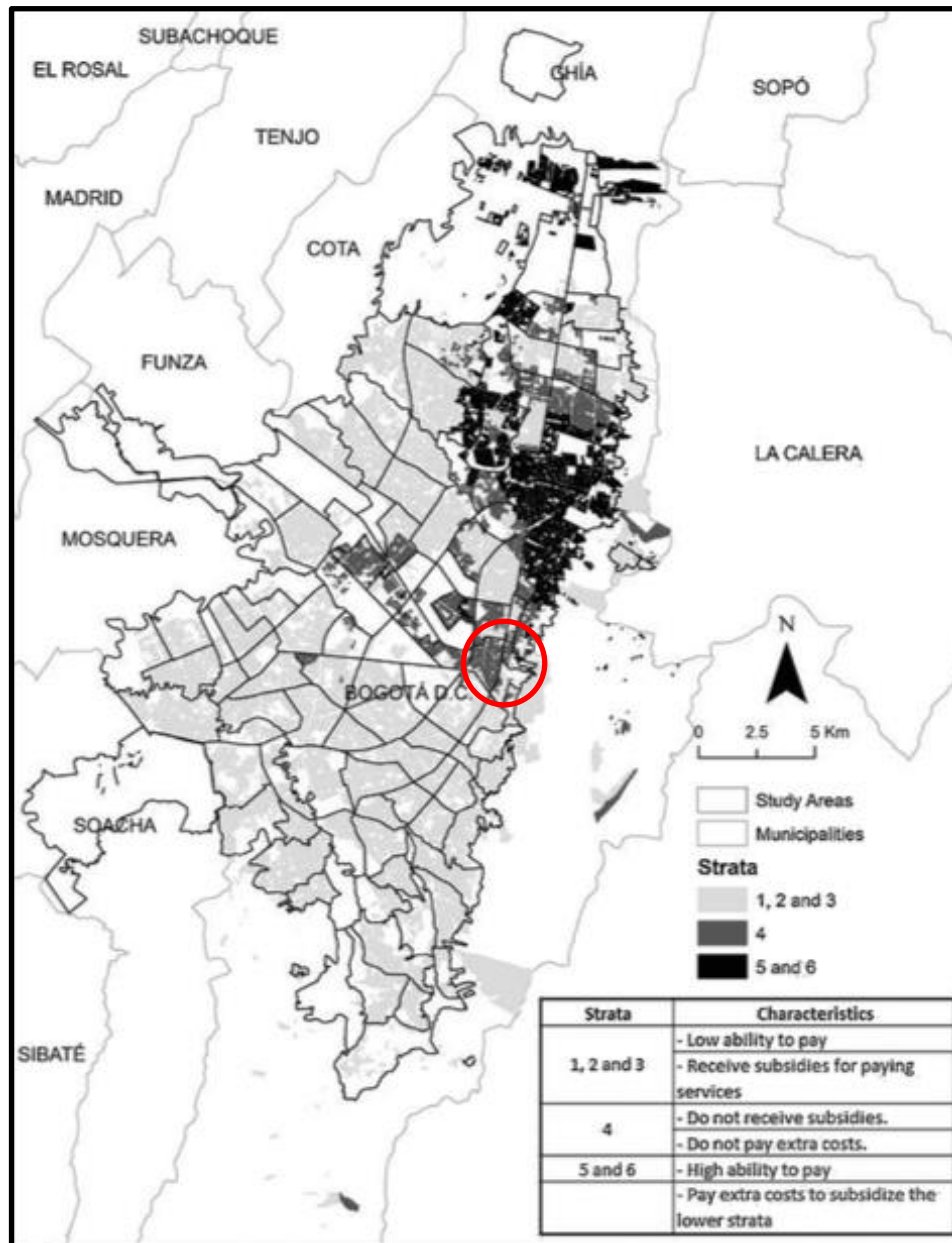


Figura 24. Unidades de planeación UPZ de la ciudad de Bogotá identificando estratos sociales.
Fuente: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.02.019>

Segundo dato, se analizó el sistema de transporte masivo de Bogotá, en la figura 25 se identifica la zona centro de la ciudad (Guzman, Oviedo, & Pablo, 2017).

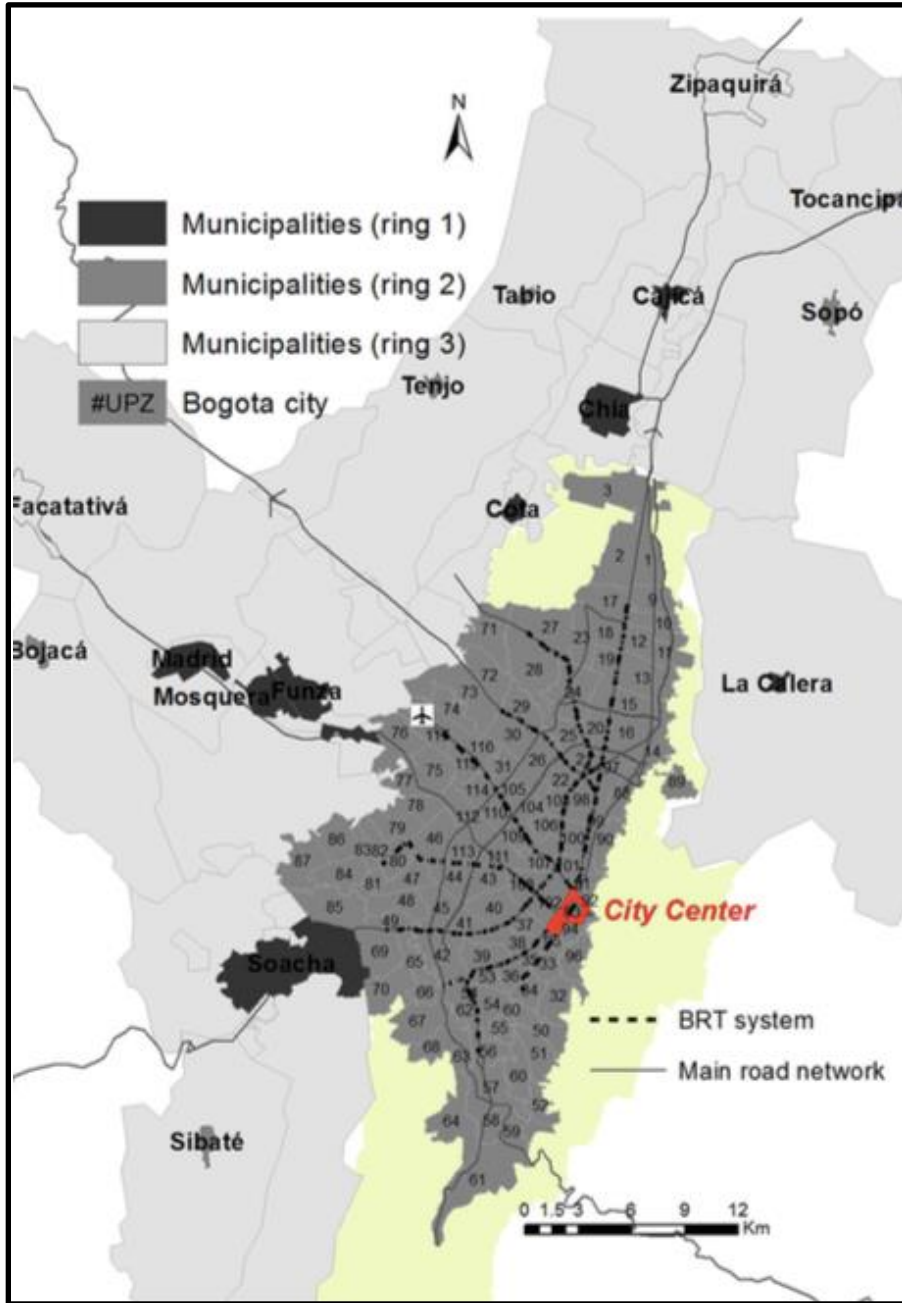


Figura 25. Sistema de transporte masivo BRT de la ciudad de Bogotá.

Fuente. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.004>

Tercer dato, se analizó la información de la red de semáforos ubicados en la ciudad de Bogotá y relacionándola con accidentes de herido y muerte desde el año 2012 hasta el 2017 solo en intersecciones semaforizadas identificando los semáforos con su respectivo código de la Secretaría de Movilidad de Bogotá y los demás puntos son accidentes analizados cómo se observa en la intersección semaforizadas de la calle 13 con carrera 43

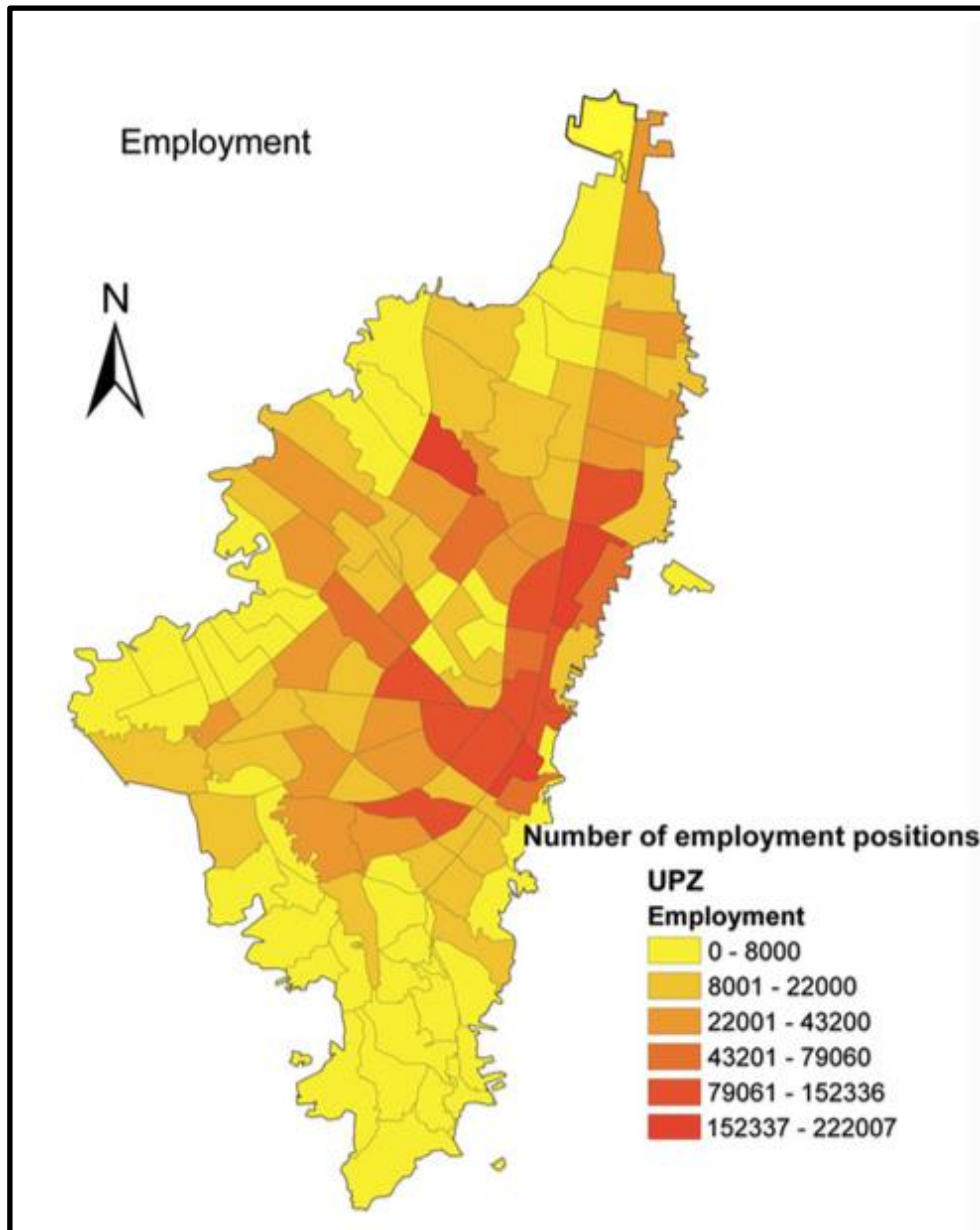


Figura 27. Patrones de viajes de destino de empleos de la ciudad de Bogotá.

Fuente. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.12.004>

3.2.2 Toma de decisión

La toma de decisión de las cuatro intersecciones semaforizadas se encontró que hay tres áreas que por su ubicación en cada UPZ según el estrato social se identifica un patrón de accidentalidad agrupándose muy cerca al centro de la Ciudad de Bogotá y donde confluyen las vías troncales del sistema masivo de transporte Transmilenio (figura 28).

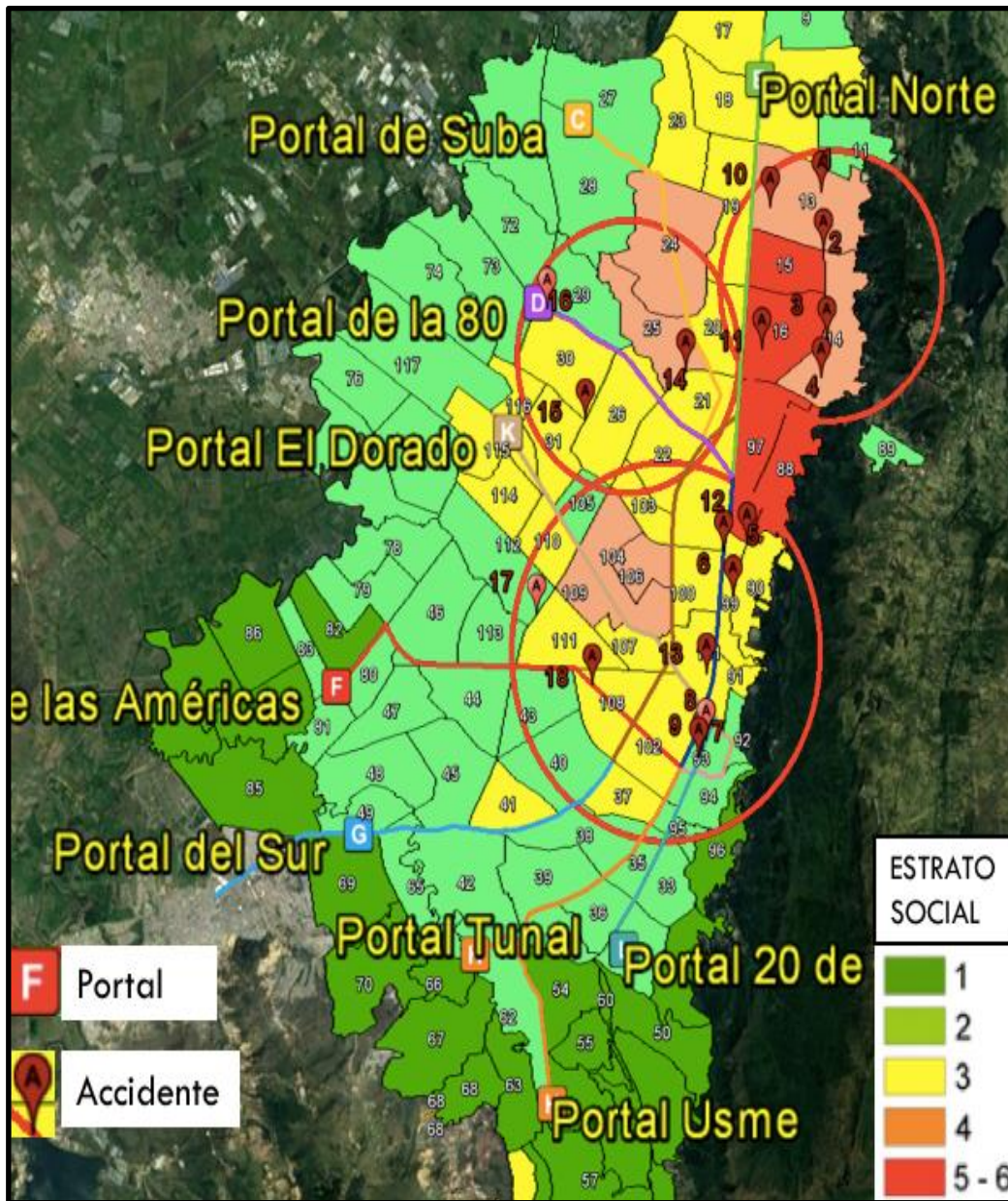


Figura 28. Áreas de Mayor accidentalidad de Bogotá 2017.

Fuente. Elaboración propia.

De la misma manera, se observa que las tres áreas cubren en su totalidad las UPZ con mayor patrón de viajes de destino en función de sitios de trabajo (figura 29).

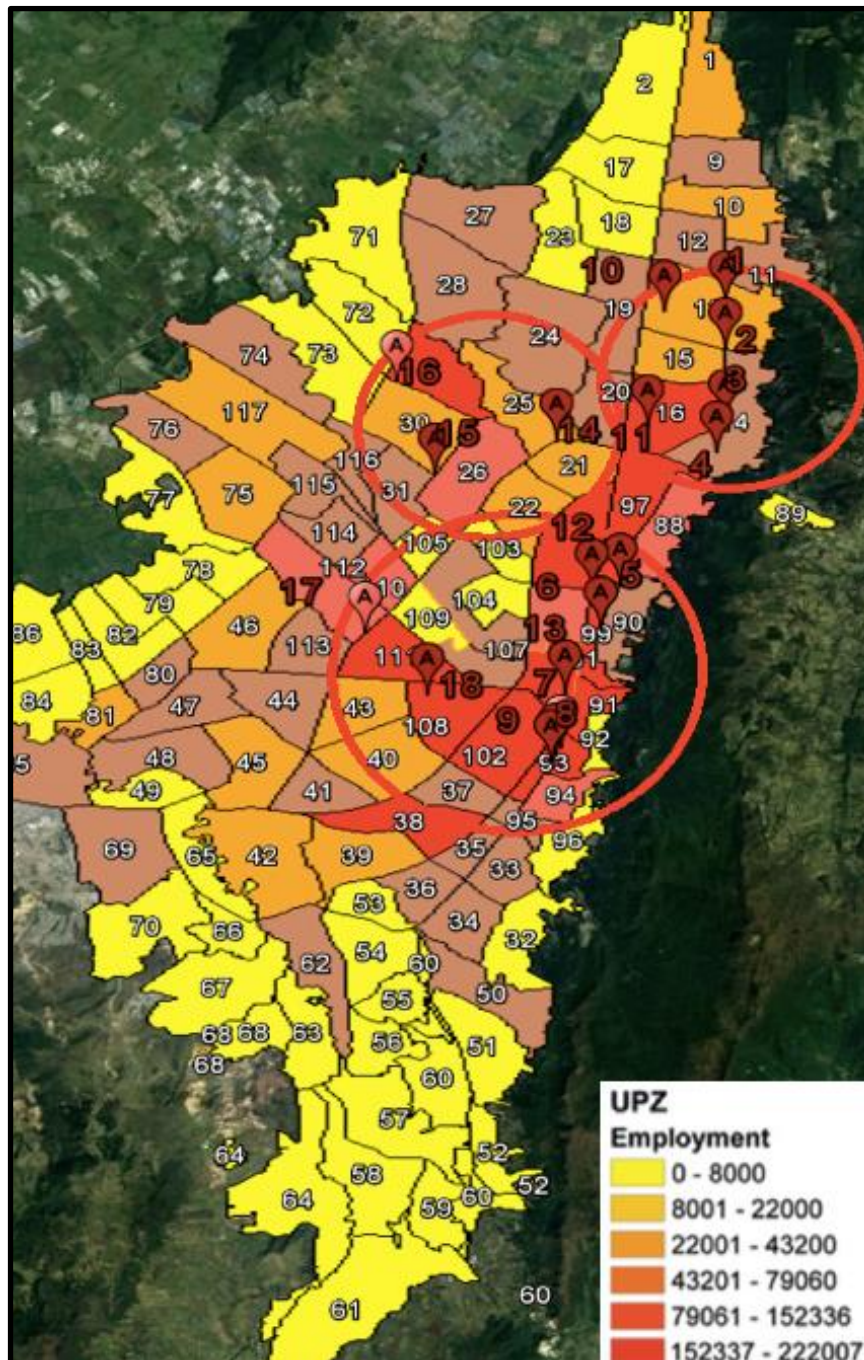


Figura 29. Patrón de viajes de destino en función de lugar de trabajo de la ciudad de Bogotá.
Fuente. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la distribución espacial que confluye en el patrón de destino de trabajo, seguido de la accidentalidad en las intersecciones semaforizadas con el desobedecimiento de las señales de tránsito como principal causa; se decide tomar las cuatro intersecciones

que llenan estos requerimientos de las 19 más accidentadas (ver anexo accidentes en google archivos .kmz):

Grupo 1:

Intersección N.º 5: Código N.º 1011 ubicada en la carrera 7 con calle 67

Intersección N.º 6: Código N.º 2014 ubicada en la carrera 7 con calle 53

Intersección N.º 7: Código N.º 2043 ubicada en la carrera 10 con calle 22

Intersección N.º 8: Código N.º 2032 ubicada en la carrera 10 con calle 19

Intersección N.º 9: Código N.º 2034 ubicada en la carrera 10 con calle 17

Intersección N.º 12: Código N.º 2074 ubicada en la carrera 14 con calle 63

Intersección N.º 13: Código N.º 2163 ubicada en la carrera 16 con calle 34

Intersección N.º 17: Código N.º 2349 ubicada en la carrera 68 con calle 17

Intersección N.º 18: Código N.º 2383 ubicada en la carrera 43 con calle 13

Grupo 2:

Intersección N.º 15: Código N.º. 2339 ubicada en la avenida Boyacá con calle 66ª.

Intersección N.º 16: Código N.º 1499 ubicada en la carrera 94 con calle 80.

Intersección N.º 14: Código N.º 1348 ubicada en la carrera 68ª con calle 100.

Intersección N.º 19: Código N.º 1202 ubicada en la avenida suba con calle 100.

Grupo 3:

Intersección N.º 1: Código N.º 11170 ubicada en la carrera 9 con calle 147.

Intersección N.º 2: Código N.º 1169 ubicada en la carrera 9 con calle 134

Intersección N.º 3: Código N.º 1255 ubicada en la carrera 7 con calle 127

Intersección N.º 4: Código N.º 1259 ubicada en la carrera 7 con calle 106.

Intersección N.º 11: Código N.º 1305 ubicada en la carrera 19 con calle 106.

Intersección N.º 10: Código N.º 1802 ubicada en la carrera 19 con calle 142.

De esta forma, y por último se realizó la visita a las intersecciones y se tomó en cuenta la pintura en el pavimento que estuviera en buen estado y así se llegó a la conclusión de las siguientes intersecciones; se decide tomar las cuatro intersecciones que llenan estos requerimientos de las 19 más accidentadas, tomando en consideración que las localidades escogidas son de las más altas en accidentes de tráfico de toda clase (figura 30):

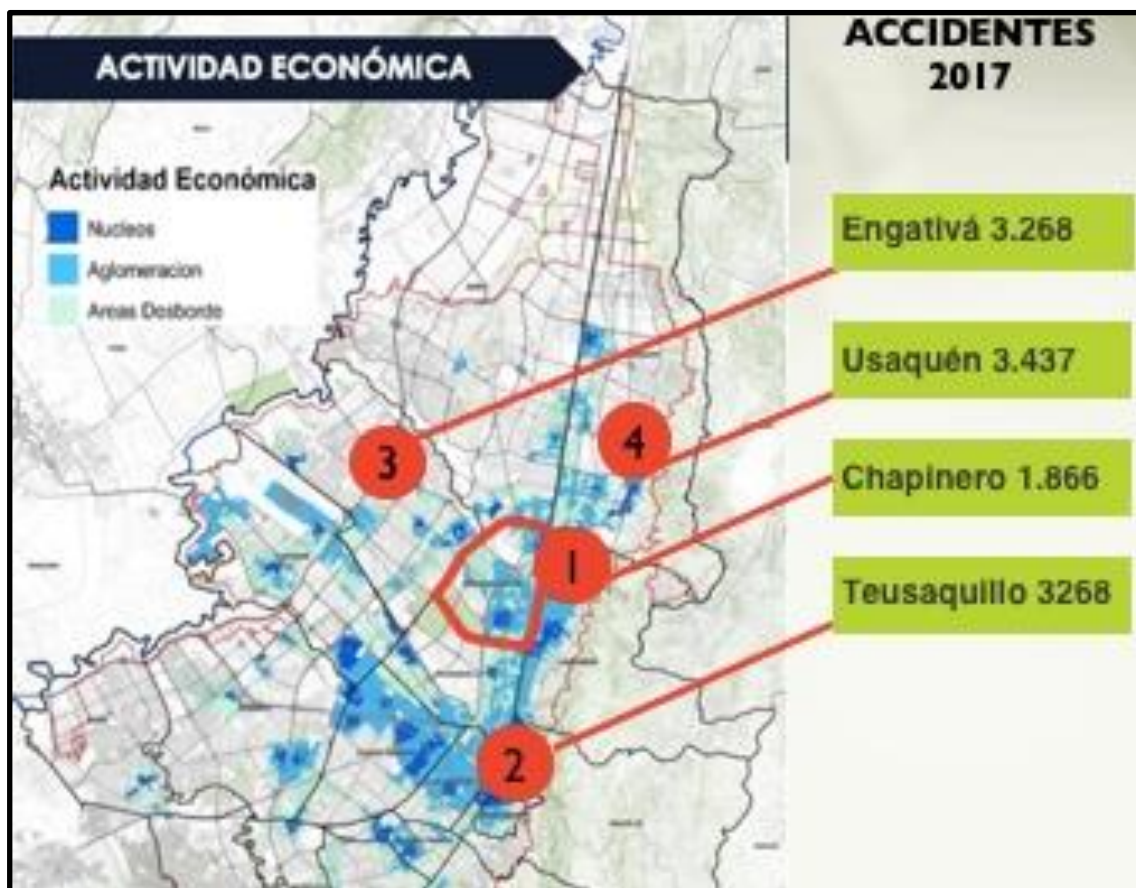


Figura 30. Intersecciones seleccionadas por localidad.

Fuente. Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). Movilidad en cifras.

3.2.2.1 Intersección N.º 1 del grupo 1:

Intersección N.º 5: Código N.º 1011 ubicada en la carrera 7 con calle 67 (figura 31 y 32).

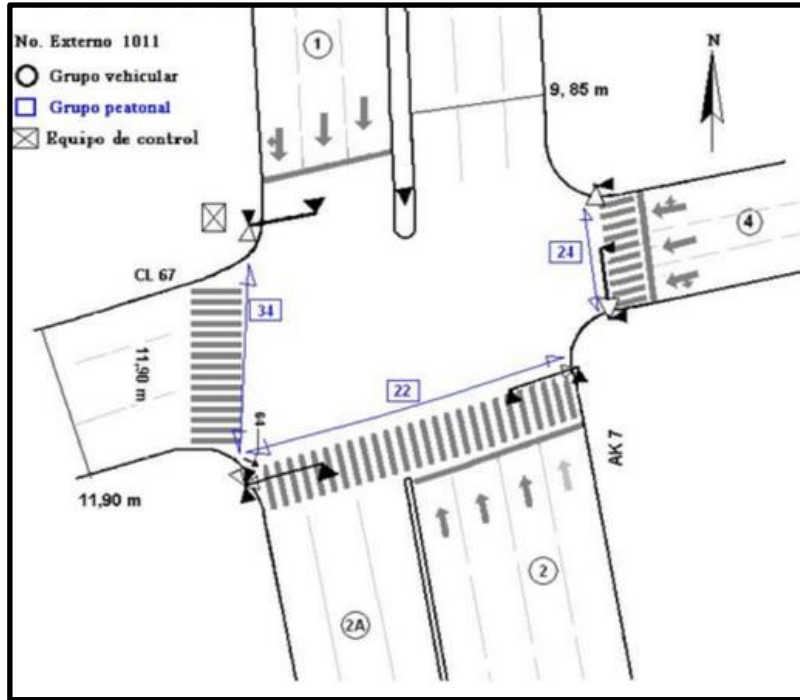


Figura 31. Intersección N.º 5: Código N.º 1011 ubicada en la carrera 7 con calle 67.

Fuente. Secretaría de Movilidad de Bogotá.

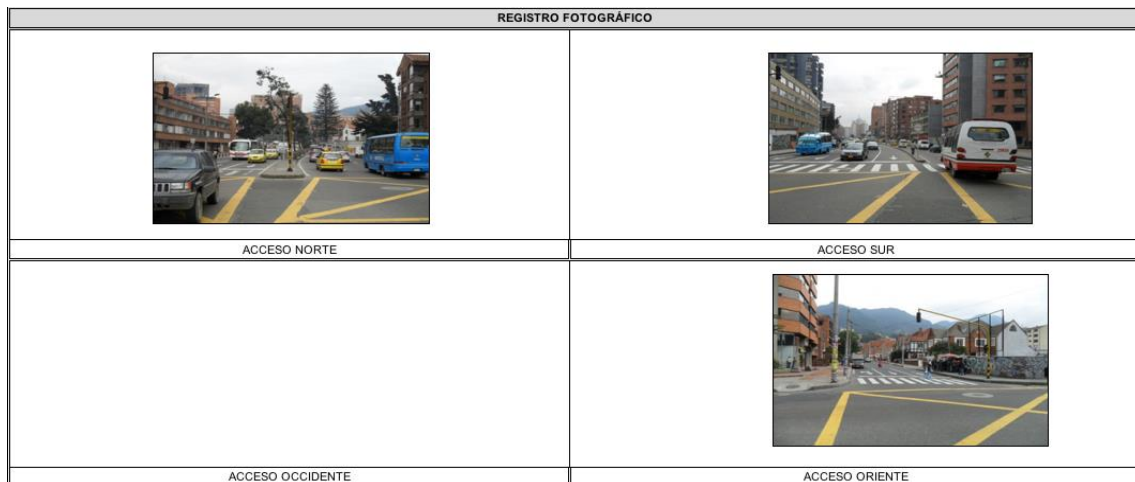


Figura 32. Intersección N.º 1 del Grupo 1.

Fuente. Secretaría de Movilidad de Bogotá

3.2.2.2 Intersección N.º 2 del grupo 1:

Intersección N.º 13: código N.º 2163 ubicada en la carrera 16 con calle 34 (figura 33 y 34).

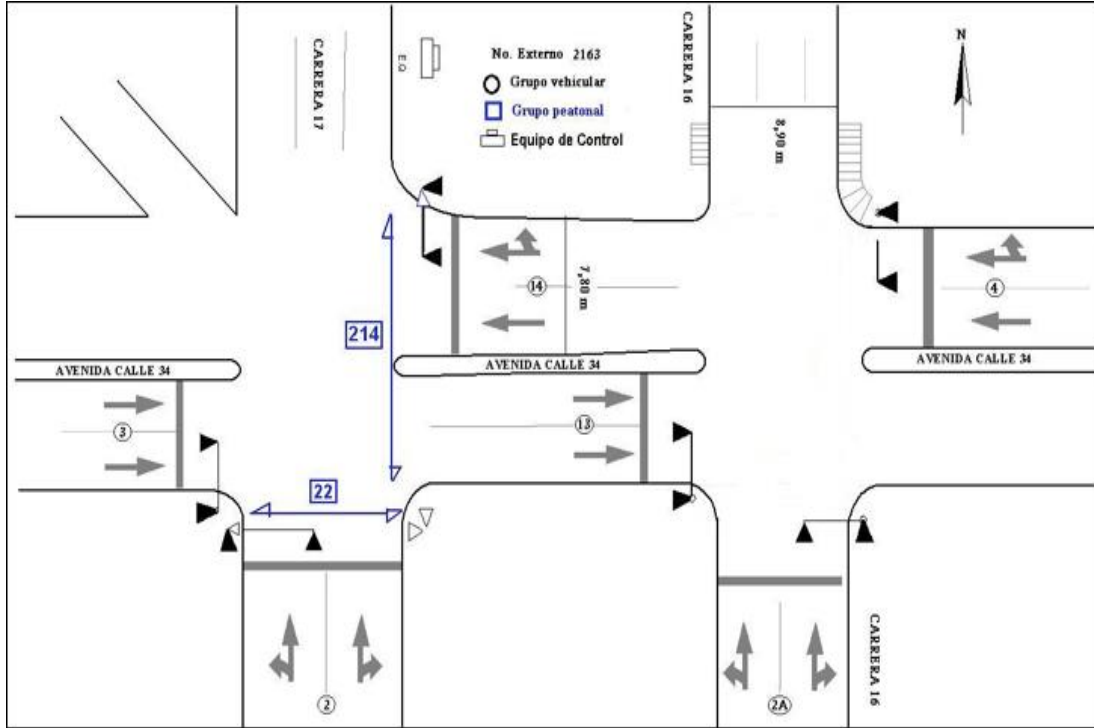


Figura 33. Intersección N.º 13: Código N.º 2163 ubicada en la carrera 16 con calle 34.

Fuente. Secretaría de Movilidad de Bogotá.



Figura 34. Intersección N.º 2 del Grupo 1.

Fuente. Secretaría de Movilidad de Bogotá.

3.2.2.3 Intersección N.º 3 del grupo 2:

Intersección N.º 16: código N.º 1499 ubicada en la carrera 94 con calle 80. (figura 35 y 36)

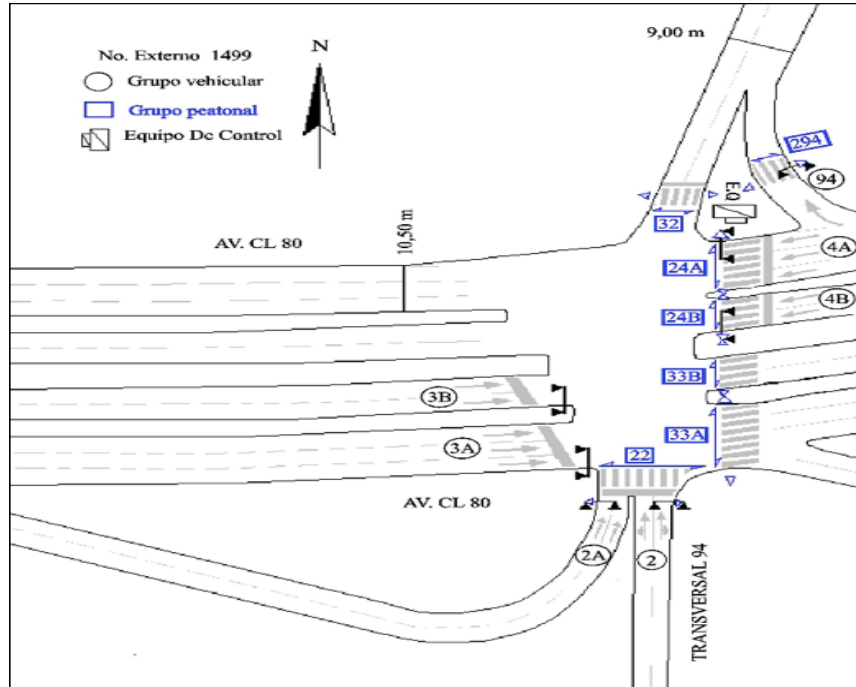


Figura 35. Intersección N.º 16: Código N.º 1499 ubicada en la carrera 94 con calle 80.

Fuente. Secretaría de Movilidad de Bogotá.



Figura 36. Intersección N.º 3 del Grupo 2.

Fuente. Secretaría de Movilidad de Bogotá.

3.2.2.4 Intersección N.º 4 del grupo 3:

Intersección N.º 3: código N.º 1255 ubicada en la carrera 7 con calle 127 (figura 37 y 38).

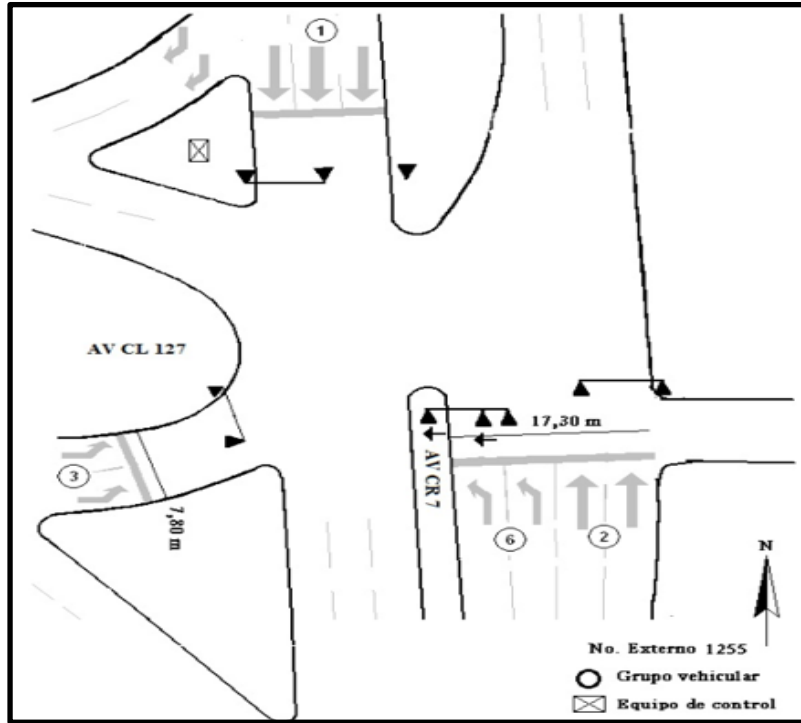


Figura 37. Intersección N.º 3: Código N.º 1255 ubicada en la carrera 7 con calle 127.

Fuente. Secretaría de Movilidad de Bogotá

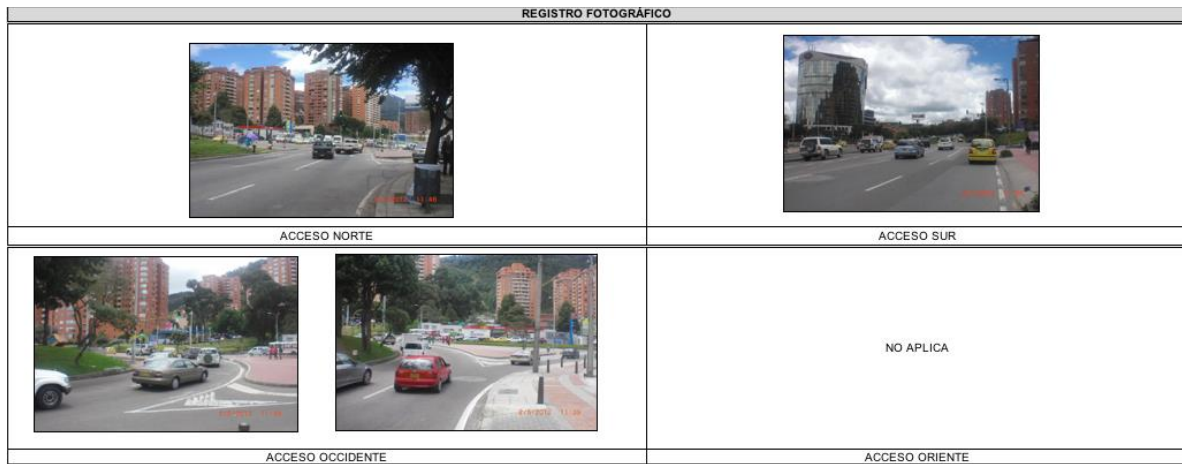


Figura 38. Intersección N.º 4 del Grupo 3.

Fuente. Secretaría de Movilidad de Bogotá

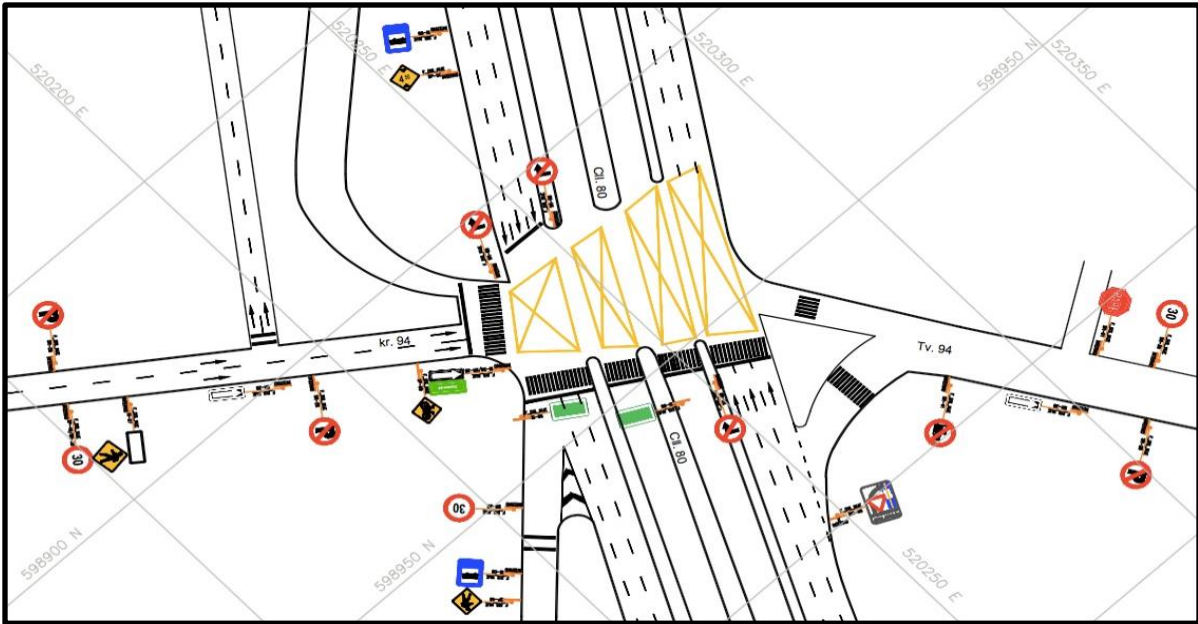


Figura 41. Inventario de señales calle 80 x carrera 94

Fuente. Elaboración propia

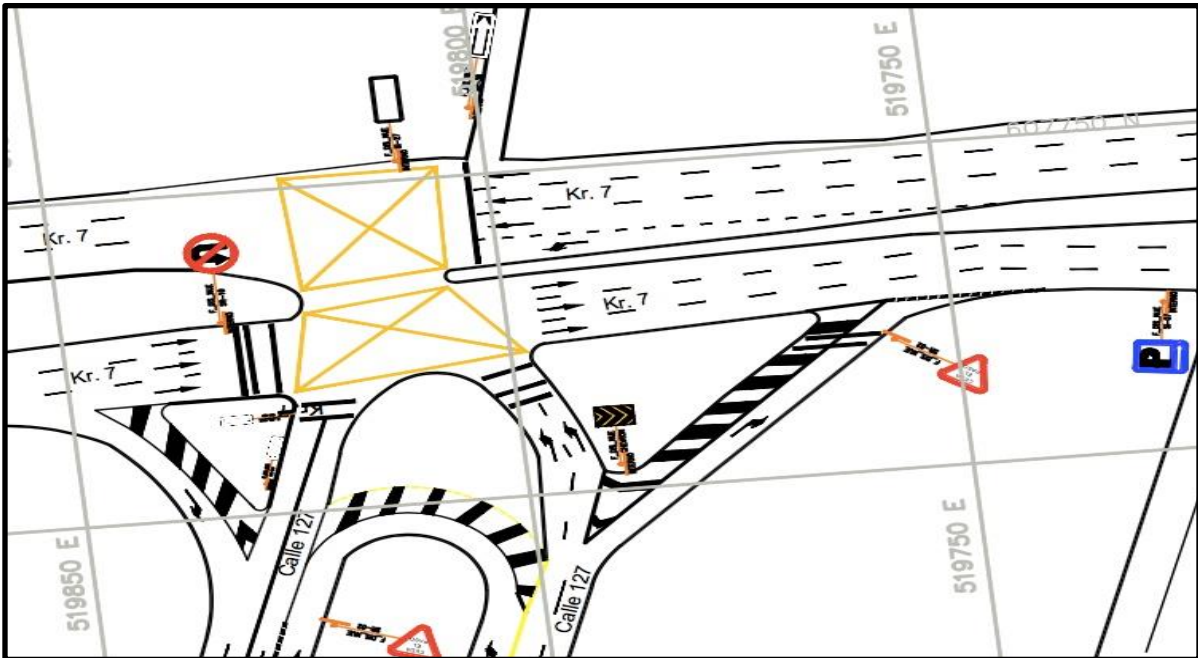


Figura 42. Inventario de señales carrera 7 x calle 127

Fuente. Elaboración propia

De la misma forma, se anexan algunas fotografías (figura 43), evidenciando el mal estado de la señalización tanto horizontal como vertical (anexo inventario fotográfico de las cuatro intersecciones).



Figura 43. Fotografías del mal estado de las intersecciones

Fuente. Elaboración propia

3.3 Determinación de niveles de servicio utilizando la metodología del “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010” con información secundaria

3.3.1 Características del tráfico vehicular en las intersecciones semaforizadas y el área de influencia

3.3.1.1 Volúmenes vehiculares

De acuerdo con la metodología del HCM 2010 y la información suministrada de la Secretaría de Movilidad de la Alcaldía Mayor de Bogotá, se recopiló información primaria y secundaria en lo concerniente a los volúmenes vehiculares. La información secundaria corresponde a los datos de los años 2014 y 2015 durante los contratos de celebrados por la Secretaría de Movilidad de la toma de información de campo del programa de monitoreo, seguimiento y planeación del tránsito y el transporte de Bogotá D.C., elaborados por la firma consultora Consorcio Monitoreo Tránsito y Transporte Urbano Bogotá, a partir de los cuales se establecieron los volúmenes horarios máximos, se calcularon los factores de hora pico y el volumen total durante las horas de aforo.

3.3.1.2 Volúmenes vehiculares información secundaria

La información secundaria, hace referencia a cuatro estaciones de aforo de 14 horas continuas cada una; las cuales son la base de la presente investigación. A partir de esta clasificación, en la tabla 12 se presentan los horarios y periodos de aforo de los diferentes tipos de estaciones.

A su vez, se presentan la localización de cada una de las estaciones de aforo a lo largo del corredor en estudio, identificando las estaciones intermedias las cuales serán la base en determinar los factores de expansión.

Se determinaron dos tipos de factores de expansión: El factor de 16 horas y el factor de dos horas; con el fin de establecer en cada una de las estaciones de aforo los tránsitos diarios de las intersecciones.

Se midieron volúmenes vehiculares en cuatro intersecciones semaforizadas; la primera en la avenida carrera 7 con calle 67, la segunda en la carrera 16 con calle 34, la tercera en la avenida calle 80 con transversal 94 y la cuarta en la avenida carrera 7 con calle 127.

Tabla 7. Horarios y periodos de aforo de los diferentes tipos de estaciones

TIPO DE ESTACIÓN	INTERSECCIÓN	PERIODO	HORA DE AFORO	FECHA DE AFORO	DÍAS
Intermedia	Carrera 7 por calle 67	14 horas	06:00 – 19:45	5 diciembre 2016	Lunes
Intermedia	Carrera 16 por calle 34	14 horas	06:00 – 19:45	27 septiembre 2016	Martes
Intermedia	Calle 80 por Carrera 94	14 horas	06:00 – 19:45	9 junio 2016	Jueves
Intermedia	Carrera 7 por calle 127	14 horas	06:00 – 19:45	17 mayo 2016	Martes

Fuente. Elaboración propia.

La toma de información en las estaciones maestras y de verificación se realizó en días de semana laboral, en esta actividad se tuvo en cuenta la composición vehicular y los factores de equivalencia que se presentan en la tabla 13.

A partir de la información y bases de datos obtenidos de los estudios de factibilidad a continuación se presenta los resultados, así como el valor de vehículos equivalentes obtenidos con las siguientes expresiones:

Vehículos equivalentes = livianos + 2 * (numero de buses) + 2.5 * (numero de camiones), + 0.50 * (numero de motos); los valores de equivalencia de 2 , 2.5 y 0.50, fueron extraídos del Manual de Planeación del Tránsito y Transporte de la ciudad de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. & Cal & Mayor y Asociados, 2005).

Tabla 8. Factores de expansión del cálculo de vehículos equivalentes livianos. camiones, moto y buses

Tipo de Vehículo	Código	Factor de Equivalencia
Livianos	LIV	1,0
Buses corrientes cortos	BCC	2,0
Buses corrientes largos	BCL	2,0
Buses ejecutivos	BE	2,0
Buses escolares y de turismo	BET	2,0
Buseta	BT	2,0
Colectivo grande	CG	2,0
Colectivo pequeño	CP	1,0
Colectivos escolares y de turismo	CET	1,0
Camiones C2 pequeños	C2P	2,5
Camiones C2 grandes	C2G	2,5
Camiones c3	C3	2,5
Camiones C4	C4	2,5
Camiones C5	C5	2,5
Camiones mayor a C5	C+5	2,5
Volquetas	VOLQ	2,5
Motos	MOT	0,5

Fuente. Elaboración propia.

A partir de información y bases de datos obtenidos de los estudios de factibilidad de la Secretaría de Movilidad de Bogotá se presenta los resultados en la tabla 14, de las 14 horas de toma de información se evidencio que la segunda mayor participación en la composición de cada intersección son las motos (amarillo) seguidos de los vehículos:

Tabla 9. Cuadro resumen aforos vehiculares de las cuatro intersecciones semaforizadas en la ciudad de Bogotá D.C.

Intervalo	Intersección	HMD	FHP	Livianos	Buses	Camiones	Motos	VTM
Total 14 Horas	carrera 7 por calle 67	8:00 - 9:00	0,97	50807	5981	802	9289	66879
Mañana		8:00 - 9:00	0,97	4867	596	49	577	6089
Medio día		10:45 - 11:45	0,96	4078	493	83	849	5503
Tarde		16:00 - 17:00	0,94	3240	450	82	940	4712
Composición				76 %	8,90 %	1,20 %	13,90 %	
Total 14 Horas	carrera 16 por calle 34	7:00 - 8:00	0,93	22233	4098	599	5995	32925
Mañana		7:00 - 8:00	0,93	2173	340	45	623	3181
Medio día		13:45 - 14:45	0,93	1781	300	42	356	2479
Tarde		17:00 - 18:00	0,97	1584	300	45	596	2525
Composición				67,5 %	12,4 %	1,8 %	18,2 %	
Total 14 Horas	calle 80 por carrera 94	06:45 - 7:45	0,97	51652	7213	5673	23742	88280
Mañana		06:45 - 7:45	0,97	3710	607	325	2614	7256
Medio día		14:30 - 15:30	0,95	3764	561	542	1386	6253
Tarde		17:45 - 18:45	0,96	3701	637	312	2569	7219
Composición				58,5 %	8,2 %	6,4 %	26,9 %	
Total 14 Horas	carrera 7 por calle 127	16:15 - 17:15	0,96	52123	5647	1258	6006	65034
Mañana		7:45 - 8:45	0,96	3527	499	67	428	4521
Medio día		15:45 - 16:45	0,92	4411	527	115	517	5570
Tarde		16:15 - 17:15	0,96	4595	506	153	497	5751
Composición				80,1 %	8,7 %	1,9 %	9,2 %	

Fuente. Elaboración propia.

Así mismo, se obtienen los porcentajes de aporte vehicular mixto por cada acceso en cada una de las intersecciones (tabla 15).

Tabla 10. Porcentajes de aportes en las cuatro intersecciones semaforizadas

Intersección	% aporte acceso norte	% aporte acceso sur	% aporte oeste	% aporte este
Carrera 7 por Calle 67	38,7 %	44,6 %	0,0 %	16,7 %
Carrera 16 por Calle 34	0,0 %	31,2 %	44,8 %	24,0 %
Calle 80 por carrera 94	0,0 %	17,5 %	47,5 %	35,0 %
Carrera 7 por Calle 127	37,3 %	49,8 %	12,9 %	0,0 %

Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados encontrados se observa que los horarios de máxima demanda vehicular sobre las cuatro intersecciones del año 2015 estaban entre las 06:45 a.m. y las 9:00 a.m. en la mañana y en la tarde de 16:15 a.m. y las 17:15, de los accesos (norte – sur) en el caso de la carrera 7 y de la calle 80 y calle 34 accesos (oriente – occidente), presentando volúmenes vehiculares que en promedio oscilan entre los 3000 y 7000 vehículos durante las horas pico encontradas en cada sentido.

La primera intersección la hora de máxima demanda fue de 8:00 a.m. a 9:00 a.m. (figura 44).

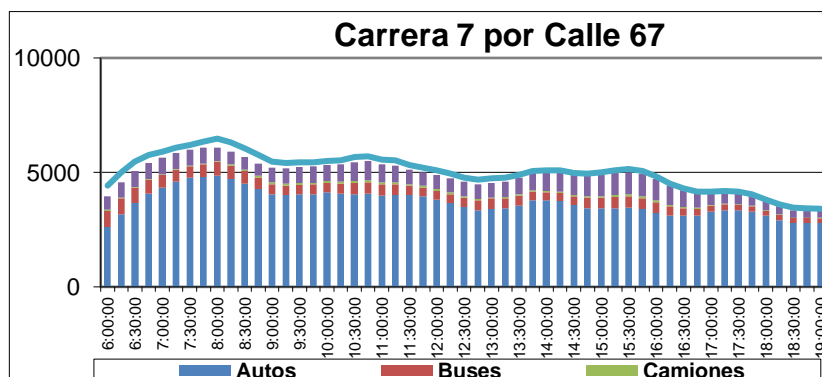


Figura 44. Composición vehicular intersección carrera 7 por calle 67

Fuente. Elaboración propia.

La segunda intersección la hora de máxima demanda fue de 7:00 a.m. a 8:00 a.m. (figura 45)

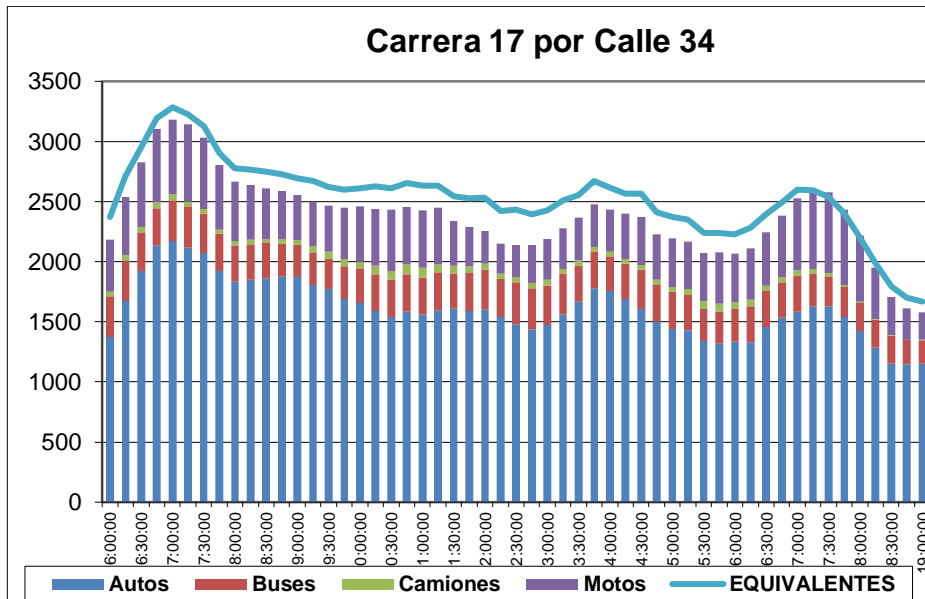


Figura 45. Composición vehicular intersección carrera 17 por Calle 34.

Fuente. Elaboración propia.

La tercera intersección la hora de máxima demanda fue de 6:45 a.m. a 7:45 a.m. (figura 46)

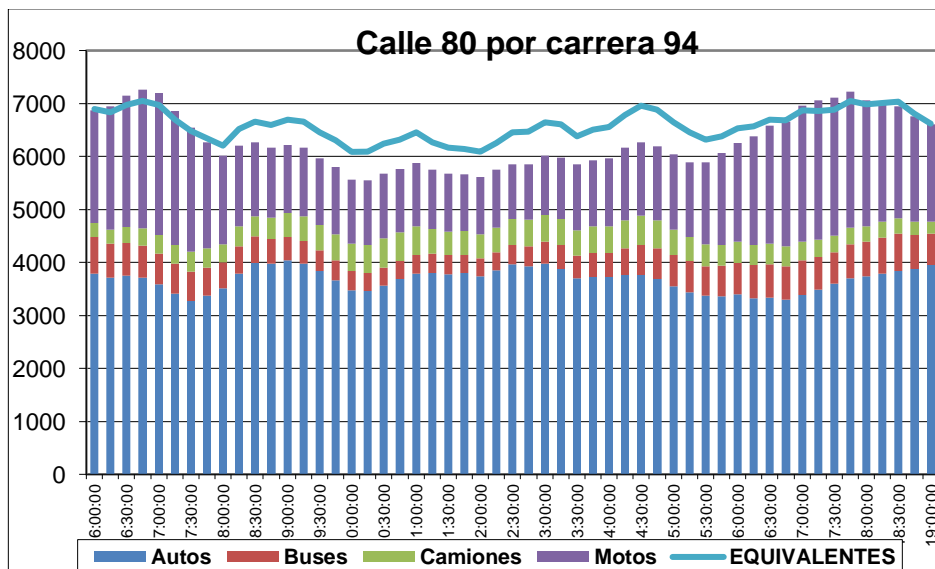


Figura 46. Composición vehicular intersección calle 80 por carrera 94.

Fuente. Elaboración propia.

La cuarta intersección la hora de máxima demanda fue de 16:15 a.m. a 17:15 a.m. (figura 47).

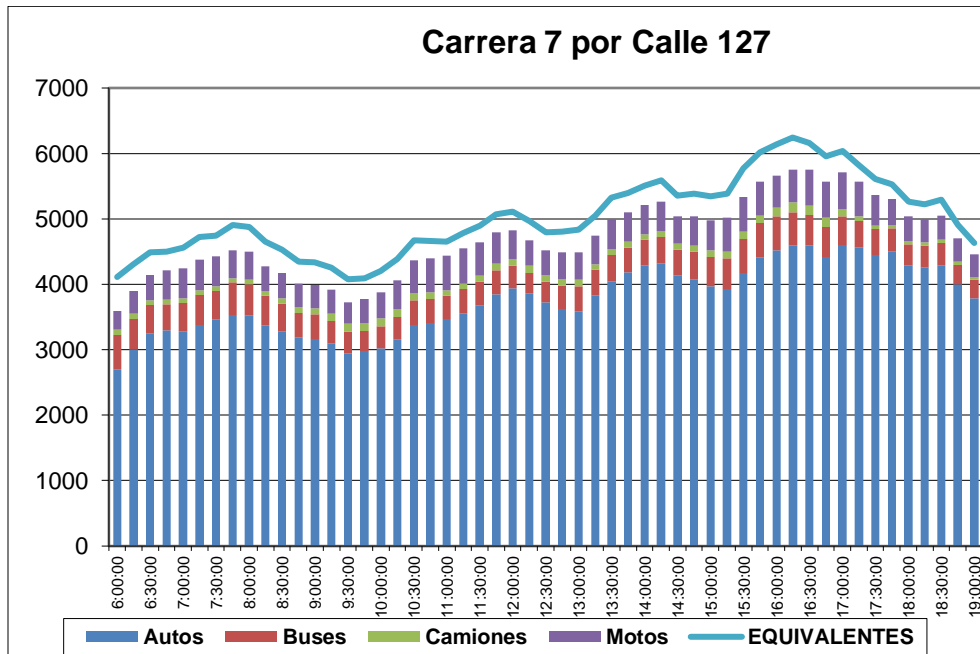


Figura 47. Composición vehicular intersección calle 80 por carrera 94.

Fuente. Elaboración propia.

3.3.2 Plan semafórico de las cuatro intersecciones

De acuerdo con el plan semafórico de la Secretaría de Movilidad de Bogotá se dispuso utilizar las fases de los semáforos que se encuentran a la fecha en uso, en coordinación con la hora de máxima demanda que arrojó el ejercicio anterior de volúmenes vehiculares y que serán usados en la evaluación del nivel de servicio en cada una de las intersecciones en estudio. Los semáforos analizados están compuestos por multifases (entre 3 y 7 fases) con un total de ciclo de 120 segundos excepto por la intersección de la carrera 16 con calle 34 que tiene un total de ciclo de 100 segundos (tabla 16). Los semáforos en las intersecciones analizadas tiene operación de tiempo fijo, quiere decir que en está, la duración del ciclo, las fases, los tiempos de verde y los cambios de intervalo son preestablecidos, permitiendo a la Secretaría de Movilidad de Bogotá definir varias programaciones durante el día, está programación se realiza en el sitio de cada una de las intersecciones, permitiendo que el plan de fases y la coordinación de semáforos sean controlados dependiendo del tráfico durante el día y la semana.

Tabla 11. Distribución de planes semafóricos de acuerdo con el HMD de las cuatro intersecciones

Carrera 7 por calle 67						
Fase No.	Acceso	Tiempo (segundos)				
		Verde	Amarillo	Rojo Amarillo	Rojo	TC
1	Norte	71	3	2	44	120
2	Sur	74	3	2	41	120
4	Oriente	36	3	2	81	120
Carrera 16 por calle 34						
2A	Sur	25	3	2	70	100
4	Oriente	35	3	2	60	100
13	Occidente	37	3	2	58	100
2	Sur	38	3	2	57	100
3	Occidente	41	3	2	54	100
14	Oriente	39	3	2	56	100
Calle 80 por carrera 94						
2	Sur	21	3	2	94	120
2A	Sur	12	3	2	103	120
3A	Occidente	68	3	2	47	120
3B	Occidente	67	3	2	48	120
4A	Oriente	64	3	2	51	120
4B	Oriente	63	3	2	52	120
94	Oriente	23	3	2	92	120
Carrera 7 por Calle 127						
1	Norte	50	3	2	65	120
2	Sur	57	3	2	58	120
3	Occidente	26	3	2	89	120

Fuente. Elaboración propia.

3.3.3 Flujo de saturación en las intersecciones semaforizadas

La tasa de flujo de saturación es la cantidad de vehículos por hora verde que pueden ser acomodados por el grupo de carriles, suponiendo que la fase verde está disponible todo el tiempo (Cal y Mayor & Cardenas, 2016). De esta manera se calculó el flujo de saturación en las cuatro intersecciones introduciendo las motocicletas en los volúmenes vehiculares con el factor de equivalencia de 0,50 en motocicletas visto anteriormente (tabla 17).

Tabla 12. Cuadro resumen intersecciones flujo de saturación ajustado: Si (vehículos/h verde)

Kr 7 por Calle 67	ESTE		3139	
	SUR		3417	
	NORTE		3182	
Kr 16 por Calle 34	OESTE 1 (3)	3768	ESTE 2 (4)	3636
	OESTE 2 (13)	3764	SUR 1 (2)	3690
	ESTE 1 (14)	3684	SUR 2 (2A)	3662
Calle 80 por Kr 94	SUR (2)	3693	ORIENTE (4A)	3987
	SUR (2A)	3810	ORIENTE (4B)	3939
	OCCIDENTE (3A)	3974	ORIENTE (9A)	3475
	OCCIDENTE (3B)	3942		
Kr 7 por Calle 67	NORTE (1)		3762	
	SUR (2)		3880	
	OCCIDENTE (3)		3565	

Fuente. Elaboración propia.

En el primer ejercicio se calcula cada uno de los factores extraídos del “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010” Capitulo 18 introduciendo los volúmenes de motocicletas y en el segundo ejercicio quitando estos volúmenes y así comparar el nivel de servicio, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El factor por ancho de carril, la dimensión debe ser superior a 2,4 e inferior a 4,8 metros por carril de lo contrario se debe analizar cómo un carril adicional. En este caso el HCM 2010 de acuerdo con el ancho de los carriles maneja factores únicos indicados en la (tabla 18).

Tabla 13. Factor Fw ancho de carril

Promedio ancho carril (m)	Factor ajuste ancho de carril (fw)
< 3.0	0.96
>= 3.0 – 3.92	1.00
> 3.92	1.04

Fuente. Manual HCM 2010 P.P. 18-36

- El factor con pendiente, el grado de pendiente debe ser superior a -6 % e inferior a 10 %. Si es negativa es cuesta abajo.
- El factor por estacionamiento, el numero de maniobras de parqueo en la hora debe ser inferior a 180, considerando 75 metros antes y después de la línea de pare. En el ejercicio no se tomaron estacionamientos.

- El factor por parada de buses, el numero de maniobras en la hora debe ser inferior a 250, considerando 75 metros antes y después de la línea de pare. En el ejercicio no se tomó paradas de autobuses.
- El factor por tipo de área, si se encuentra en un sector que presenta concentración de comercio se cambia el valor por 0,90.
- El factor con giro derecho, si el carril es exclusivo se reemplaza la fórmula por el valor de 0,85. Si la calzada solo tiene un carril se reemplaza en la fórmula la constante 0,15 por 0,135.
- El factor por bloqueo de peatones y bicicletas es necesario considerar si es en el giro izquierdo o en el giro derecho, por lo cual queda por defecto el valor de 1,000.
- Si el flujo de saturación ajustado por carril es inferior a 1200, es necesario efectuar la toma en terreno con el fin de verificar.
- No hay presencia de cola inicial $Q_b=0$ la demora d_3 es igual a cero
- Con un intervalo de confianza de 90 %, el flujo de saturación base del caso Bogotá varía entre 1.880 y 2.015 veh./hora/carril (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. & Cal & Mayor y Asociados, 2005) tomo II 8-13.
- Cuando la intersección se encuentra en un área metropolitana con 250.000 habitantes o más, según el HCM 2010 (S_o) es de 1900 automóviles/carril/hora, y en otras ciudades 1750 (figura 48). Lo resalta el “Manual de capacidad de carreteras HCM 2010” (Academia Nacional de Ciencias EE.UU., 2010. P.P. 18-76)

Exhibit 18-28
 Default Values: Automobile
 Mode with Fully or
 Semiactuated Signal Control

Data Category	Input Data Element	Default Values
Traffic characteristics	Right-turn-on-red flow rate	0.0 veh/h
	Percent heavy vehicles	3%
	Intersection peak hour factor	If analysis period is 0.25 h and hourly data are used: Total entering volume \geq 1,000 veh/h: 0.92 Total entering volume $<$ 1,000 veh/h: 0.90 Otherwise: 1.00
	Platoon ratio	See discussion
	Upstream filtering adjustment factor	1.0
	Base saturation flow rate	Metropolitan area with population \geq 250,000: 1,900 pc/h/ln Otherwise: 1,750 pc/h/ln
	Lane utilization adjustment factor	See discussion
	On-street parking maneuver rate	See discussion
	Local bus stopping rate	When buses expected to stop Central business district: 12 buses/h Non-central business district: 2 buses/h When buses not expected to stop: 0

Figura 48. Flujo de saturación base HCM 2010.

Fuente. Manual de capacidad de carreteras HCM 2010 P.P. 18-76

3.3.4 Análisis de la capacidad en las cuatro intersecciones

La determinación de la capacidad de las intersecciones semafóricas se basó en los resultados del flujo de saturación determinando de cada grupo de carril la relación volumen/capacidad crítica y se tuvo en cuenta la más alta relación de flujo en determinar la capacidad total de la intersección de cada una de ellas de acuerdo con la hoja de cálculo que se anexa al presente trabajo de cada una de las intersecciones.

De tal manera, se cálculo el flujo de saturación de las cuatro intersecciones (tabla 19) haciendo la relación de la afectación de motocicletas. En el primer ejercicio se tuvieron en cuenta las motocicletas y en el segundo ejercicio no se incluyeron.

De acuerdo con los resultados se evidencio que la capacidad se afecta no tan considerable con la presencia de motocicletas (tabla 19).

Tabla 14. Comparación resultados capacidad en las intersecciones

INTERSECCIÓN	CAPACIDAD CON MOTOCICLETAS	CAPACIDAD SIN MOTOCICLETAS
Carrera 7 por Calle 67	246 %	232 %
Carrera 7 16 por Calle 34	229%	206 %
Calle 80 por carrera 94	225 %	184 %
Carrera 7 por Calle 127	189 %	182 %

Fuente. Elaboración propia.

Los resultados anteriores se obtuvieron de la sumatoria de las relaciones de flujo de todos los grupos de carriles críticos, teniendo en cuenta el tiempo total perdido por ciclo y la longitud del ciclo.

Se evaluó globalmente cada intersección, con respecto a su geometría y al ciclo, utilizando el concepto de grado de saturación crítico de cada intersección, considerando solo los accesos o grupos de carriles críticos, definidos como aquellos que tiene la relación de flujo más alta de cada fase.

3.3.5 Determinación de los niveles de servicio en las intersecciones

El nivel de servicio se obtuvo con las demoras promedio de cada grupo de carriles (uniforme, incremental y por cola inicial). Es de resaltar que los análisis de la presente investigación no se tuvo presencia de cola inicial ($Q_b=0$) la demora d_3 es igual a cero. Una vez obtenido la demora por cada grupo de carril y agregada en cada acceso y en cada una de las intersecciones se determinó el nivel de servicio.

Es evidente la diferencia de demoras entre las intersecciones semaforizadas con volúmenes de motociclistas y cuando no la tiene, se nota una disminución no muy considerable (tabla 20).

Con relación al nivel de servicio en tan solo una intersección (carrera 16 por calle 34) se vió afectado el nivel de servicio de pasar de F a E.

Tabla 15. Comparación nivel de servicio intersecciones semaforizadas

INTERSECCIÓN	NIVEL DE SERVICIO CON MOTOS		NIVEL DE SERVICIO SIN MOTOS	
	Demora en toda la Intersección: d1 (s/veh)	Nivel de servicio global de la Intersección	Demora en toda la Intersección: d1 (s/veh)	Nivel de servicio global de la Intersección
Carrera 7 por Calle 67	444,19	F	379,25	F
Carrera 16 por Calle 34	94,48	F	64,36	E
Calle 80 por carrera 94	372,36	F	119,99	F
carrera 7 por Calle 127	222,95	F	201,12	F

Fuente. Elaboración propia.

3.4 Determinación de niveles de servicio con el software VISSIM

En el presente estudio se tomaron los volúmenes anteriores, pero esta vez sin tener en cuenta el factor de equivalencia de cada uno de los vehículos debido a que el *software* tiene la diferenciación entre livianos, camiones, buses y motos. Se tomó la hora más crítica en cada una de las intersecciones tomando como periodo estándar 4500. Es de resaltar que el modelo de simulación VISSIM es estocástico quiere decir que es aleatorio el ingreso de vehículos y no todos igualmente espaciados o similares. En el presente trabajo no se tuvo en cuenta la parada de autobuses a igual que la metodología HCM 2010.

La composición vehicular en la simulación es fundamental porque define el tipo de vehículos a utilizar creando por acceso una composición y a su vez utilizando los movimientos (tabla 21) utilizados por Cal y Mayor en su investigación en la Ciudad de Bogotá así:

Tabla 16. Movimientos vehiculares

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

Fuente. Elaboración propia.

De la misma manera, se realiza los movimientos de forma grafica (figura 49):

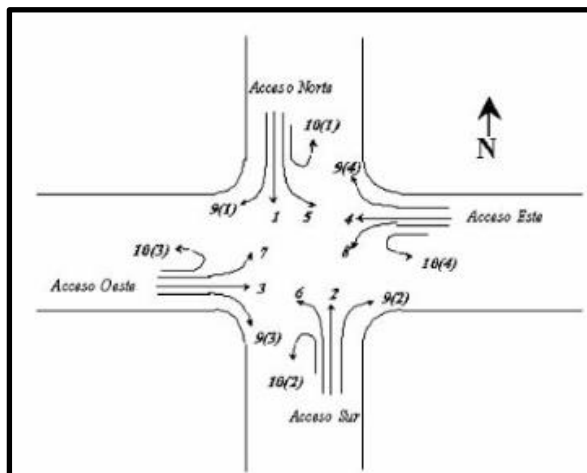


Figura 49. Movimientos vehiculares de forma grafica.

Fuente. Elaboración propia.

Además, en la simulación se deja predefinido en el programa el comportamiento de las motos de utilizar las brechas entre vehículos o cambio de carril es decir el movimiento hacia los lados adelantando por la izquierda y por la derecha dejándole 5 cms de distancia entre moto y moto y cuando va en movimiento la distancia se deja de 40 cms.

En la evaluación del modelo se realizó una hoja de cálculo que se anexa al presente trabajo donde se define lo modelado vs los volúmenes aforados. Los modelos son evaluados en VISSIM con la función configurar se marcan los tipos de vehículos seguido de la función evaluar “nodos” y “data collections” dejando una etapa de calentamiento de 900 seg. un tiempo de 4500 seg. con un intervalo de 3600 seg.

Completado el ingreso de los volúmenes y parámetros en el programa VISSIM se dejó correr la simulación en 10 ocasiones de cada intersección, comparando en la hoja de excel la densidad total y los volúmenes en cada acceso. De esta forma se utiliza la fórmula de GEH Statistic (ecuación 8).

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}} \quad (8)$$

Esta es la fórmula utilizada en la ingeniería de tránsito (ecuación 8) y así comparar los valores modelados con los volúmenes aforados que significa la raíz cuadrada de dos veces la diferencia entre lo modelado y observado al cuadrado sobre la sumatoria de lo modelado y lo observado.

El modelo es calibrado si el 60 % de puntos de calibración tiene GEH inferior a 5 y el 90 % de puntos de calibración debe estar por debajo de un GEH de 10 y ningún punto de calibración debe superar un GEH de 12. Teniendo en cuenta lo anterior en el caso de las cuatro intersecciones (figura 50,51,52 y 53) estuvieron dentro de estos parámetros con un R2 de 1 o muy cerca a este.

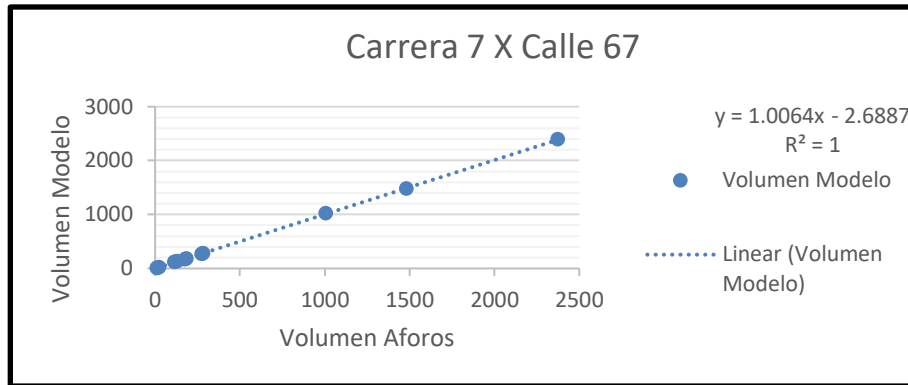


Figura 50. GEH Intersección carrera 7 X Calle 67.

Fuente. Elaboración propia.

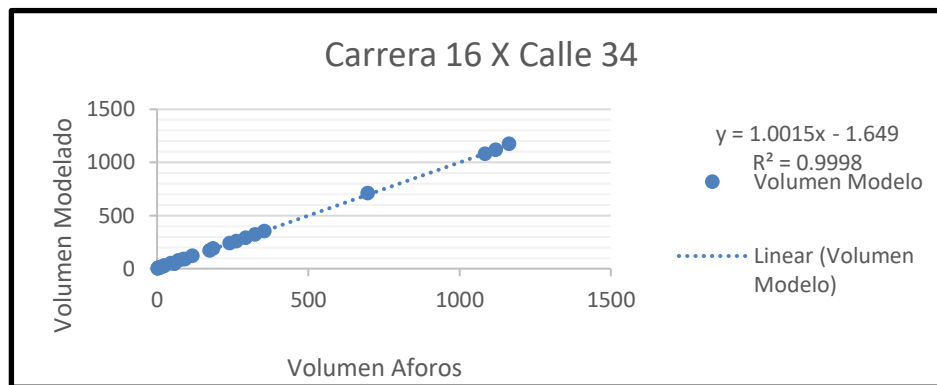


Figura 51. GEH Intersección carrera 16 X calle 34.

Fuente. Elaboración propia.

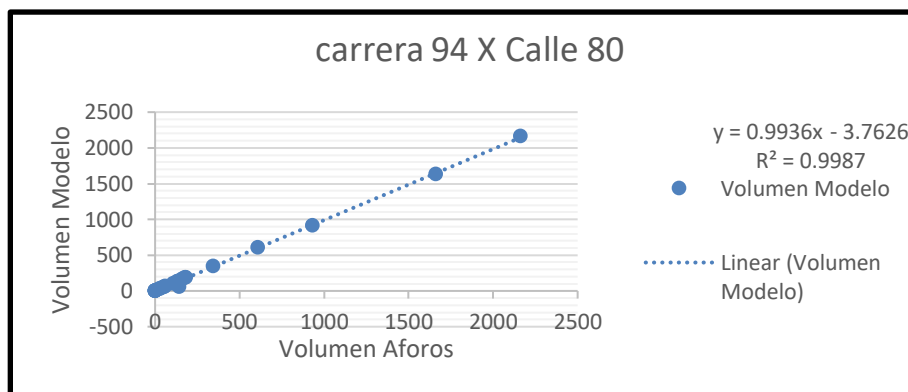


Figura 52. GEH Intersección carrera 94 X calle 80.

Fuente. Elaboración propia.

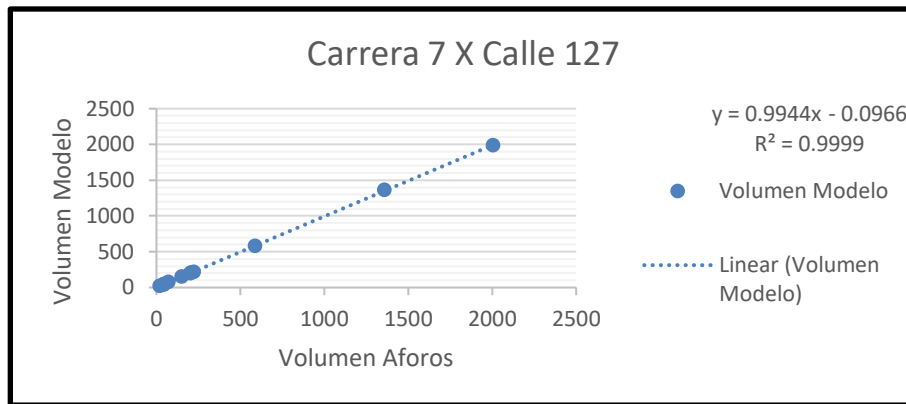


Figura 53. GEH Intersección carrera 7 X calle 127.

Fuente. Elaboración propia.

Teniendo los modelos calibrados se pasa a la verificación de las demoras y en su efecto a sus niveles de servicio (tabla 22) y se obtuvo cómo resultado niveles de servicio entre B y C evidenciando a igual que la metodología del HCM 2010 que hubo disminución de las demoras, pero no de los niveles de servicio.

Tabla 17. Comparación nivel de servicio intersecciones semaforizadas

INTERSECCIÓN	NIVEL DE SERVICIO CON MOTOS		NIVEL DE SERVICIO SIN MOTOS	
	Demora en toda la Intersección: d1 (s/veh)	Nivel de servicio global de la Intersección	Demora en toda la Intersección: d1 (s/veh)	Nivel de servicio global de la Intersección
Carrera 7 por Calle 67	18,42	B	17,80	B
Carrera 7 16 por Calle 34	25,73	C	24,97	C
Calle 80 por carrera 94	23,03	C	20,15	C
Carrera 7 por Calle 127	23,18	C	21,61	C

Fuente. Elaboración propia.

Así mismo, las colas promedio y máximas son las siguientes en cada una de las intersecciones en las horas pico, evidenciando que solo en la primera intersección (figura 54); se nota uniforme la cola en cada acceso y no superando 200 mts de longitud a diferencia de las otras intersecciones (figuras 55,56 y 57) que no hay uniformidad con las colas en los accesos y sobresale la cola en uno o dos accesos, debido a las características

del tránsito, a la capacidad de las vías y al mal estado del pavimento y de la señalización horizontal y vertical en algunos casos.

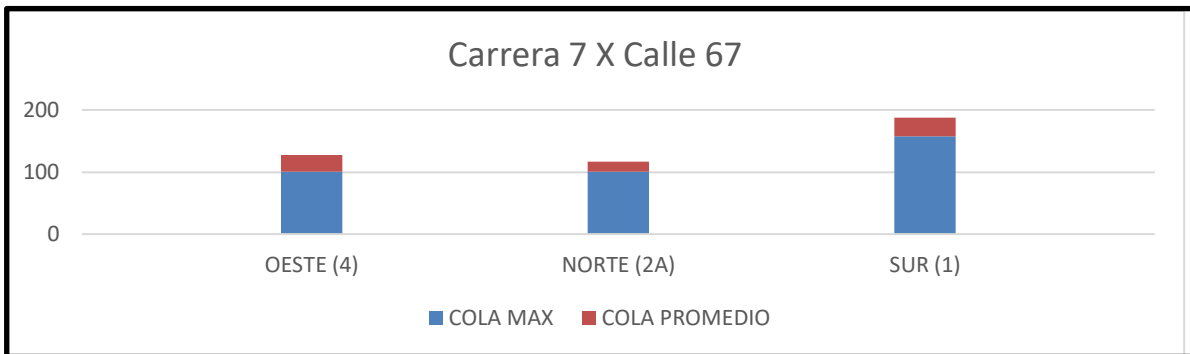


Figura 54. Longitud de las colas carrera 7 X calle 67.

Fuente. Elaboración propia.

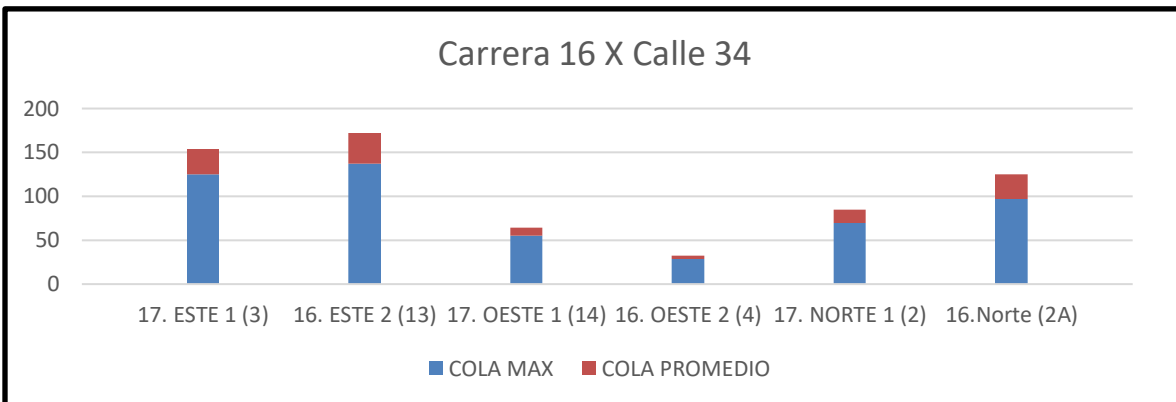


Figura 55. Longitud de las colas carrera 16 X calle 34.

Fuente. Elaboración propia.

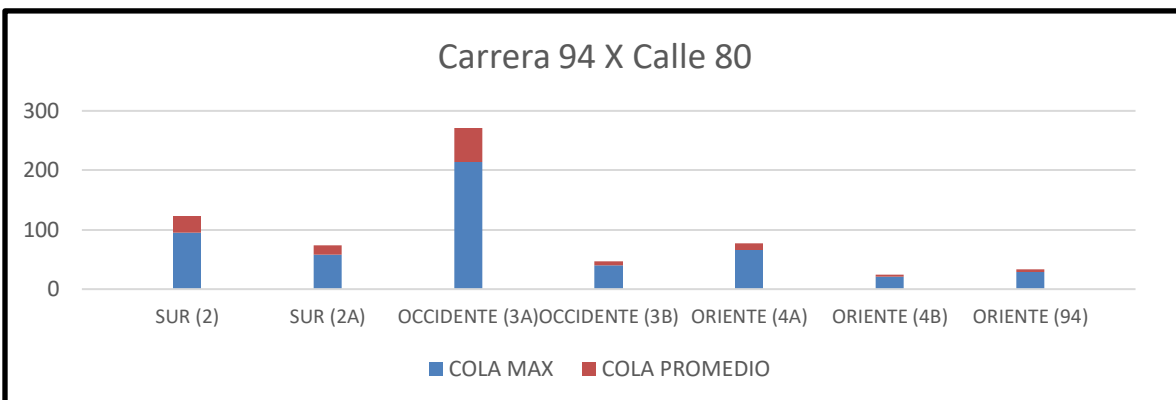


Figura 56. Longitud de las colas carrera 94 X calle 80.

Fuente. Elaboración propia.

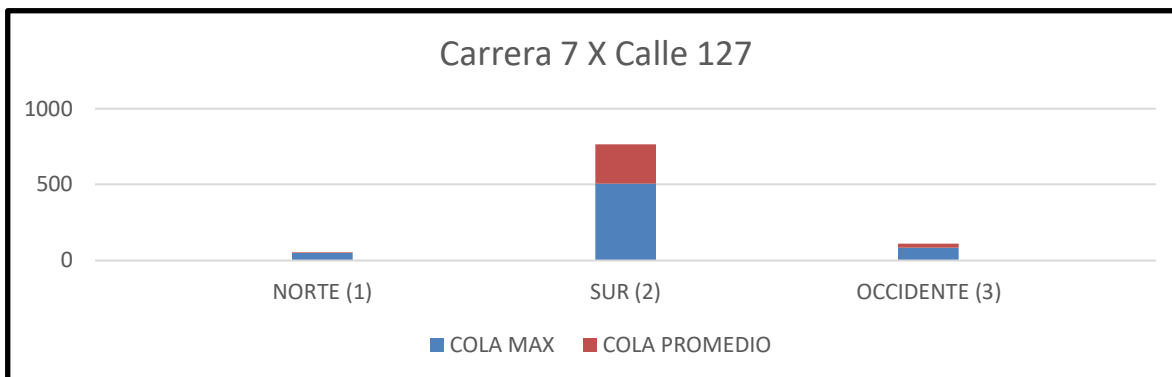


Figura 57. Longitud de las colas carrera 7 X calle 127.

Fuente. Elaboración propia.

3.5 Determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico (norma INVE-792-13)

La fricción es uno de los principales factores que afecta la seguridad vial, está fricción entre la llanta y la superficie debe mantener unos estándares de cumplimiento, que el conductor dependiendo de la fricción pueda disminuir o aumentar la velocidad.

En el presente trabajo se desarrollaron los ensayos de medida de coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico (norma INVE -792-13) del 25 de abril de 2018 desde las 23:00 horas hasta las 03:00 horas y se obtuvieron los resultados de la tabla 23. Además, se anexa a la presente investigación los resultados de laboratorio realizados en campo.

Tabla 18. Coeficientes de fricción (Péndulo Británico)

INTERSECCIÓN	Pintura Húmeda	Asfalto Húmedo	Temperatura
Carrera 7 X Calle 67	30 - 32		14°
Carrera 16 X Calle 34	40 - 34	56	18°
Calle 80 X carrera 94	50	60	17°
Carrera 7 Calle 127	50 - 52		18°

Fuente. Elaboración propia.

De la misma forma, el presente estudio se aplicó el método del péndulo británico y así determinar el riesgo relativo de accidentes en función de la resistencia al deslizamiento. En la figura 58 se observa un estudio realizado en Inglaterra y se demuestra con la curva que los valores por debajo de 55 pueden ser aceptados en carreteras en condiciones de fácil manejo y valores por debajo de 45 indican potencialidad al deslizamiento sin importar las condiciones de la superficie y del tránsito (Leiva, 2005 Pàg.43).

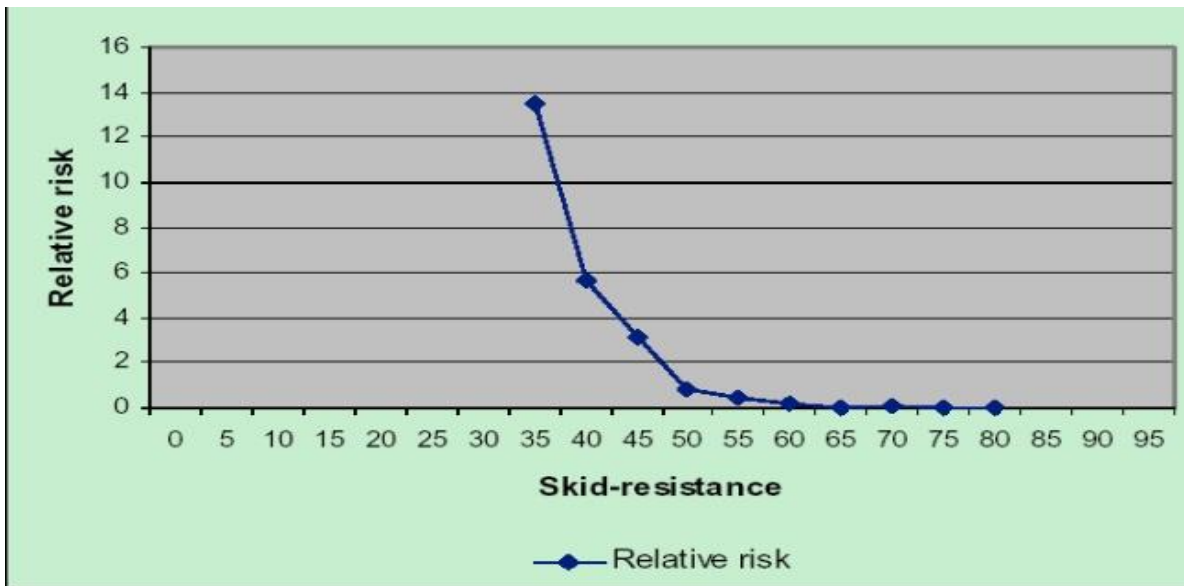


Figura 58. Riesgo relativo de accidentalidad por efecto de la variación en la resistencia al deslizamiento.

Fuente. Normativa de evaluación de la resistencia al deslizamiento Pág. 43.

De tal manera, se puede analizar que los ensayos realizados sobre la pintura en las intersecciones de la carrera 7 con calle 67 y la carrera 16 con calle 34 están por debajo de los valores aceptados entre 30 y 40 y las otras dos intersecciones de la calle 80 con carrera 94 y la carrera 7 con calle 127 están en el borde de aceptación entre 50 y 52.

Así mismo los ensayos sobre el pavimento se determinaron valores entre 56 y 60 y aplicando estudios del Reino Unido se determinan un sitio A2 acercamiento a intersecciones con volúmenes mayores a 1750 (tabla 24); el caso de las intersecciones de estudio el flujo de saturación base se determinó que era 1900 veh/día. De tal forma, la intersección de la carrera 16 con calle 34 no cumple con los parámetros exigidos y la intersección de la calle 80 con carrera 94 si cumple.

Tabla 19. Valores mínimos de coeficiente de fricción de pavimentos en el Reino Unido

Sitio	Definición	Vehículos comerciales por día	PSV
A1 (difícil)	(i) Acercamiento a señales de tránsito en carreteras donde el 15% de los carros tiene un velocidad > a 64km/h	<250 250-1000 1001-1750 >1750	60 65 70 75
	(ii) Acercamiento a zonas peatonales en vías urbanas principales		
A2 (difícil)	(i) Acercamiento y cruce de intersecciones principales en vías con más de 250 vehículos comerciales por día	<1750 1750-2500 2501-3250 >3250	60 65 70 75
	(ii) Rotondas y sus aproximaciones		
	(iii) Radios de curvatura < 150 m en caminos donde el 15% de los vehículos tiene una velocidad > a 64km/h		
	(iv) Pendientes del 5% o mayores, >1000 m		
B (promedio)	generalmente secciones rectas y largos radios de curvatura en	<1750 1751-4000 >4000	55 60 65
	(i) autopista		
	(ii) caminos principales (iii) otros caminos >250 vehículos comerciales por día		
C (fácil)	(i) Secciones rectas de caminos con poco tránsito < 250 vehículos comerciales por día		45
	(ii) Otros caminos donde los accidentes debido al deslizamiento no son problema		

Fuente. Normativa de evaluación de resistencia al deslizamiento de pavimentos. Pág. 31

4 CONCLUSIONES

La investigación permitió determinar que los accidentes y comparendos de motociclistas como desobedecimiento de las señales de tránsito y el desconocimiento de las normas del Código Nacional de Tránsito de Colombia en una ciudad como Bogotá son los más frecuentes, según bases de datos de la Secretaría de Movilidad de Bogotá (2016) y conduce al análisis de los factores económicos, sociales y de infraestructura vial, debido a que se evidenció que las señales de tránsito tanto horizontales como verticales en las intersecciones de estudio se encuentran en mal estado y en algunas zonas no existe (Ley 769 de, 2002).

De esta manera, cuando se realiza un estudio de tránsito se debe tomar en cuenta el crecimiento de la población con estratos sociales, la zona centro de la ciudad, la partición modal de viajes motorizados, así como la tasa de crecimiento de adquisición de vehículos ya que estos factores propician un aumento en el flujo de saturación de las intersecciones semaforizadas y de la capacidad vial y, por consiguiente, del nivel de servicio.

El análisis de la capacidad y nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas es un proceso de gran importancia para la movilidad urbana de Bogotá, debido a que son puntos críticos y si una intersección semaforizada no logra su objetivo de evitar demoras y colas toda la red se ve afectada. Por consiguiente, se observa un aumento año tras año de circulación de motocicletas en la ciudad de Bogotá sumado a un alto índice de accidentalidad que se refleja en el aumento de la capacidad vial con diferencias entre el 7, 14, 23 y 41 % en cada intersección semaforizada, contrario al nivel de servicio que no se ve afectado manteniendo su categoría. Este estudio se basó en la metodología HCM 2010 y el *software* VISSIM, introduciendo datos de la Secretaría de Movilidad de Bogotá (2017) y utilizando los planes semafóricos que datan del año 2012, utilizados actualmente pero no están acordes con los volúmenes actuales e incrementan demoras y colas en los carriles de cada una de las intersecciones.

Sumado a este estudio se analizó el coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico (norma INVE-792-13) de la pintura utilizada en la señalización horizontal de las cuatro intersecciones semaforizadas de los casos de estudio, debido a los considerables accidentes por falta de mantenimiento en la señalización tanto vertical como horizontal, como se demuestra en el registro fotográfico del inventario de señales de

tránsito; se comprobó que dos intersecciones no cumplen con la aceptabilidad en función de deslizamiento y las otras dos se encuentran en el límite de aceptabilidad. Es de vital importancia para trabajos futuros de investigación que se analice la reducción de accidentes por medio de mejoras en las señales de tránsito, así como la disminución de demoras reubicando, suprimiendo o tan solo realizando mantenimientos a las señales verticales y horizontales en las intersecciones semaforizadas, y comprobar si afectan los niveles de servicio y reducción de colas.

5 BIBLIOGRAFÍA

Academia Nacional de Ciencias. (2010). HCM 2010. Revisado el 5 enero 2018.

Academia Nacional de Ciencias EE.UU. (2010). Manual de capacidad de carreteras Capitulo 18, 4, 2010. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000746](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000746). Revisado el 8 enero 2018.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2011). Informe de indicadores - Encuesta de movilidad de Bogotá 2011, 128. Recuperado a partir de <http://www.bogotacomovamos.org/documentos/encuesta-de-percepcion-ciudadana-2014/>. Revisado el 10 enero 2018.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). Movilidad en cifras. Revisado el 28 noviembre 2017.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2015). Encuesta de movilidad 2015. Revisado el 12 noviembre 2017.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., & Cal & Mayor y Asociados. (2005). Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte tomo I. (Cal & Mayor y Asociados, Ed.), Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte (Primera Ed). Bogotá D.C., Revisado el 25 enero 2018.

Amézquita, L. L. ., Durán Matiz, D. F. ., & Fajardo Morales, D. H. (2016). Matriz origen-destino y eficiencia en modos de transporte urbano: Un análisis de la movilidad de Bogotá. *Semestre económico*, 19(39), 91–111. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/pdf/1650/165046671004.pdf>-. Revisado el 5 febrero 2018.

ANDI. (2017). Andi y Fenalco informan sobre el comportamiento del mercado de motocicletas en el mes de diciembre de 2016, 6. Recuperado a partir de [http://www.andi.com.co/cinau/Documentos 2016 Moto/5. Informe de motocicletas a diciembre de 2016.pdf](http://www.andi.com.co/cinau/Documentos%202016%20Moto/5.%20Informe%20de%20motocicletas%20a%20diciembre%20de%202016.pdf). Revisado el 12 febrero 2018.

Bang, K., Wahlstedt, J., & Linse, L. (2016). Metodología para medir el tiempo y el análisis de impacto de las intersecciones señalizadas. *Procedimientos de investigación en*

transporte, 15, 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.06.007>. Revisado el 25 febrero 2018. Revisado el 5 abril 2018.

Bañón, L., & Bevía, J. F. (2012). Manual de carreteras. 2000. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>. Revisado el 7 enero 2018.

Cabra, A. J. P. (2014). Determinación del factor de equivalencia de motocicletas en flujo ininterrumpido en vías con pendiente 0 % de 3 carriles en Colombia Andrés Javier Peña Cabra Asesor: Juan Pablo Bocarejo Suescún , PhD Universidad de los Andes Departamento de Ingeniería Ci. Recuperado a partir de <http://repositorio.uniandes.edu.co/xmlui/handle/1992/7125>. Revisado el 5 abril 2018.

Chiou, Y. C., Wen, C. H., Tsai, S. H., & Wang, W. Y. (2009). Modelización integrada de la propiedad, el tipo y el uso del automóvil / motocicleta para estimar el consumo y las emisiones de energía. *Investigación de transporte parte A: política y práctica*, 43(7), 665–684. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2009.06.002>. Revisado el 10 marzo 2018.

Del Busto Pinzón, D. F., & de Souza, F. T. (2016). Un modelo basado en datos como una herramienta de gestión metropolitana: El estudio de caso de la región Bogotá - sabana en Colombia. *Política de uso de la tierra*, 54, 253–263. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.02.019>. Revisado el 12 marzo 2018.

El Tiempo. (2015, octubre 8). Pese a medidas del Distrito, sigue en aumento uso del carro particular. Recuperado a partir de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16397781>. Revisado el 10 mayo 2018.

El Universal. (2011, septiembre 25). Mototaxismo: ¿Un problema de Inseguridad? Recuperado a partir de <http://www.eluniversal.com.co/suplementos/facetas/mototaxismo-¿un-problema-de-inseguridad-45508>. Revisado el 15 abril 2018.

Ferrari, C. (2014, marzo 30). Pico y Placa: la medida del absurdo. Recuperado a partir de <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/pico-y-placa-medida-del-absurdo-articulo-483884>. Revisado el 20 abril 2018.

Guzmán, L. A., Gómez, A. M., & Rivera, C. (2017). Un modelo de generación de un tour estratégico dentro de un marco dinámico de uso y transporte de la tierra: un estudio de caso

de Bogotá, Colombia. *Procedimientos de investigación en transporte*, 25, 2540–2555. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.292>. Revisado el 25 marzo 2018.

Guzmán, L. A., Oviedo, D., & Pablo, J. (2017). Archivo pro de la ciudad: El área metropolitana de Bogotá que nunca fue. *JCIT*, 60, 202–215. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.004>. Revisado el 17 abril 2018.

Jimenez, A., Pablo, J., Zarama, R., & Yerpez, J. (2015). Un análisis de estudio de caso para examinar choques de motocicletas en Bogotá, Colombia. *Revista de investigación de seguridad*, 52, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.12.005>. Revisado el 2 mayo 2018.

Jurewicz, C., & Excel, R. (2016). Aplicación de un modelo de evaluación de riesgo predictivo de choque para priorizar la inversión en seguridad vial en Australia. *Procedimientos de investigación en transporte*, 14, 2101–2110. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.225>. Revisado el 19 febrero 2018.

Leiva, F. (2005). Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos, 1–73. Recuperado a partir de <http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/292652/2/Tesiscompleta.pdf>. Revisado el 17 marzo 2018.

Martínez, A., & Martínez, E. (2012). Metodología para el análisis de capacidad y nivel de servicio en intersecciones semaforizadas de acuerdo al manual de capacidad HCM 2000: caso cerro del agua/ingeniería, 224. Revisado el 16 febrero 2018.

Matiz, D. F. D. (2014). *Estudio del Transporte Público Colectivo*. Revisado el 18 abril 2018.

Mayor, R. C., & Cárdenas, J. (2016). *Ingeniería de Tránsito*. (Alfaomega Colombiana S.A., Ed.) (8va. Edición). Bogotá D.C., Revisado el 12 febrero 2018.

Nguyen, H. D. (2016). Análisis de la tasa de flujo de saturación en intersecciones señalizadas para condiciones de tráfico mixto en ciudades dependientes de motocicletas 1 Introducción de las ciudades dependientes de motocicletas 2 Fundamentos de la tasa de flujo de saturación. *Procedimientos de investigación en transporte*, 15, 694–708. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.06.058>. Revisado el 28 febrero 2018.

Organización Panamericana de la Salud. (2009). Informe sobre el estado de la seguridad vial en la región de las Américas, 108. Recuperado a partir de

http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2009/gsrss_paho.pdf.

Revisado el 25 marzo 2018.

Red de Ciudades cómo vamos. (2014). Encuesta de percepción ciudadana Red de Ciudades. Revisado el 9 abril 2018.

Sosa, A. J., Corporativo, V., Kogan, J., & Senior, A. (2015). La Motocicleta en América Latina, 294. Revisado el 4 febrero 2018.

6 ANEXOS

Anexo 1: Hojas de Cálculo con metodología HCM 2010, resultados de VISSIM (GEH) y bases de datos de las 4 intersecciones semaforizadas.

Anexo 2: Planos de inventario de señalización horizontal y vertical de las 4 intersecciones semaforizadas.

Anexo 3: Bases de datos de comparendos desde el 2002 al 2017 de la ciudad de Bogotá.

Anexo 4: Bases de datos de los accidentes desde el 2002 al 2017 de la ciudad de Bogotá.

Anexo 5: Bases de datos de volúmenes (aforos) de la Secretaría de Movilidad de Bogotá de las cuatro intersecciones semaforizadas.

Anexo 6: Archivos con la simulación en VISSIM de las cuatro intersecciones semaforizadas.

Anexo 7: Informe fotográfico de la señalización horizontal y vertical de las cuatro intersecciones semaforizadas.

Anexo 8: Informe de los ensayos de coeficiente de rozamiento con péndulo británico elaborados por parte del centro de estudios geotécnicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Anexo 9: Videos de la realización de los ensayos realizado por el técnico de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Anexo 10: Oficios enviados y recibidos de diferentes entidades como Ministerio de Transporte, Secretaría Distrital de Movilidad y Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.

Anexo 11: Archivo en .kmz de los accidentes de tránsito en la Ciudad de Bogotá.