



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Barranquilla, Noviembre de 2014

Señores

Comité de Proyectos de Grados e Investigaciones

Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería Civil

Fundación Universidad de Norte

Ciudad.

Cordial Saludo:

Por medio de la presente certifico que he asesorado en la elaboración del informe final del trabajo de grado que se titula “EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.” con toda la estructura metodológica, teórica y contenido en el proceso de investigación, elaborado por el estudiante Elvin Rafael González Medina, para optar el título de Magíster en Ingeniería Civil.

Atentamente

Víctor Manuel Cantillo Maza

Director de Tesis



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Barranquilla, Noviembre de 2014

Señores

Comité de Proyectos de Grado e Investigaciones

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Fundación Universidad del Norte

Ciudad.

Cordial Saludo:

Por medio de la presente me dirijo a ustedes para presentar el informe final del trabajo de grado para optar la mención de Magister en Ingeniería Civil, que tiene por título “EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.”.

Atentamente:

Elvin Rafael González Medina



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS
DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

ELVIN RAFAEL GONZALEZ MEDINA

Ingeniero Civil, Corporación Universitaria de la Costa



FUNDACION UNIVERSIDAD DEL NORTE

JESUS FORERO BAYONA

Rector

JAVIER PAEZ

Decano División De Ingeniería

Barranquilla, Noviembre de 2014



**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE
TRÁNSITO HETEROGÉNEO.**

Por

ELVIN RAFAEL GONZALEZ MEDINA

Ingeniero Civil, Corporación Universitaria de la Costa

(1996)

Presentado al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Como requisito parcial para optar al título de

Magíster en Ingeniería Civil

Con énfasis en

Vías y Transporte

En la

Fundación Universidad del Norte

Barranquilla, Noviembre de 2014



DEDICATORIA

A Dios, porque dentro de su voluntad ha permitido mejorar mi condición como ser humano

A mi madre, hermanas y familiares, por darme el ánimo suficiente, en momentos difíciles y brindarme todo su respaldo y apoyo para seguir adelante.

A mis hijos por ser fuente de inspiración en mi vida y permitirme quitar un poco de su tiempo en busca de una meta personal.

A mis compañeros y amigos, Jesús, Patricia, Sindry, Thomas, Mafe, con quienes en el diario compartir me enseñaron, corrigieron y me dieron su apoyo incondicional, para seguir adelante en la carrera y hacer posible la llegada a la meta.

A mi asesor Víctor Manuel Cantillo Maza, por darme su apoyo constante, su gran aporte en la culminación de este trabajo, su disponibilidad y paciencia. Mil gracias.

ELVIN GONZALEZ MEDINA



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

AGRADECIMIENTOS

Mil gracias a las personas que me brindaron apoyo en el desarrollo de esta investigación, a la Fundación Universidad del Norte por ser mi formadora en este tiempo, a los profesores por su entrega y al programa de Maestría en Ingeniería Civil que la formación académica con distintas capacitaciones.



RESUMEN

Esta investigación analiza el comportamiento del flujo vehicular heterogéneo con volúmenes significativos de motocicletas, mediante técnicas de simulación. En una primera etapa se evalúa el comportamiento del flujo en diferentes escenarios con características de tránsito heterogéneo, homogenizando el tráfico mediante el uso de factores de equivalencia y restringiendo el flujo de motos en un corredor vial urbano; se analizan indicadores del nivel de servicio (demoras, colas, velocidades) de la red modelada, así como el comportamiento individual de cada una de las intersecciones que conforma el sistema. Los resultados obtenidos en la comparación de escenarios, demuestran que la mezcla de motos en flujo mixto afecta en grandes proporciones la movilidad urbana, impactando negativamente en los indicadores de nivel de servicio. Por otra parte, se comprueba que la estrategia de segregación del tráfico tiene impactos positivos en los indicadores de nivel de servicio del corredor piloto estudiado, en la ciudad de Riohacha, bajo la consideración de asignar estos flujos hacia una vía exclusiva (motoruta o motocarril).

En una segunda etapa de la investigación, se hace una predicción del comportamiento de una red con una propuesta de crecimiento de motocicletas. Se observa que con el aumento en un 30% correspondiente a un periodo de cuatro (4) años, indicadores del nivel de servicio como la velocidad media de la red disminuyen al ser comparados con los de una situación actual.

En una tercera etapa, con el fin de proponer la realización de infraestructura para la segregación del tránsito de motocicletas (carril exclusivo), se evalúan diferentes anchos de carriles, para determinar un valor óptimo; de los resultados obtenidos se recomienda un ancho mínimo de carril de 1.9 metros y un ancho máximo de 2.2 metros.



ABSTRACT

This research analyzes the behavior of heterogeneous traffic flow with significant volumes of motorcycles, using simulation techniques. In a first step the flow behavior is evaluated in different scenarios with heterogeneous traffic characteristics, homogenizing traffic and restricting the flow of motorcycles in an urban corridor; service level indicators (delays, queues, speed) of the modeled network and individual behavior of each of the intersections forming the system are analyzed. The results obtained in the comparison of scenarios; show that the mixture of motorcycles in mixed flow affects large proportions of urban mobility, negatively impacting the service level indicators. Moreover, it is found that strategy traffic segregation has positive impacts on service level indicators of pilot corridor studied in Riohacha, under consideration of assigning these flows to a dedicated line (motorbike-path or motorbike-lane).

In a second stage of the investigation, a prediction of the behavior of a network is done with a proposal growth of motorcycles. It is observed that with the increase by 30% for a period of four (4) years, service level indicators as the average network speed decrease when compared with those of a current situation.

In a third step, in order to propose the realization of infrastructure for traffic segregation of motorcycles (busway), lane widths are assessed to determine an optimum value; the results of a minimum lane width of 1.9 meters and a maximum width of 2.2 meters is recommended.



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	15
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivos específicos.....	17
1.2	PROBLEMA LA INVESTIGACIÓN	17
1.3	HIPÓTESIS	18
1.4	CONTRIBUCIONES	18
2	MARCO TEÓRICO	20
2.1	NIVELES DE MODELACIÓN	20
2.2	CARACTERISTICAS DE FLUJO VEHICULAR	22
2.2.1	Parámetros macroscópicos	22
2.2.2	Parámetros microscópicos.....	22
2.3	REVISION DE ESTUDIOS DE EVALUACIÓN	23
2.3.1	Simulación en tránsito homogéneo	26
2.3.2	Simulación de tránsito heterogéneo.....	26
2.3.1	Calibración del modelo de simulación	28
2.3.2	Validación del modelo de simulación	29
2.4	EL SOFTWARE.....	30
2.4.1	Modelo de Seguimiento de vehículo de Wiedemann	30
3	DESCRIPCIÓN DEL CORREDOR PILOTO	33
3.1	CARACTERISTICAS GENERALES DE LA AVENIDA LOS ESTUDIANTES CALLE 1 HASTA AEREOPUERTO	33
3.2	CARACTERIZACIÓN DE LA MALLA VIAL CIRCUNDANTE	35
3.3	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TRANSITO Y TRANSPORTE....	36
3.4	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS GRÁFICO DE LOS AFOROS REALIZADOS Y LA INFORMACIÓN SECUNDARIA RECOPIADA.....	42
3.4.1	Estación 1, intersección de la carrera 15 con la calle 7	42
3.4.2	Estación 2 intersección de la carrera 15 con la calle 10	43
3.4.3	Estación 3 intersección de la carrera 15 con la calle 11 y 11ª	44



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

3.4.4	Estación 4 intersección de la carrera 15 con la calle 12	45
3.4.5	Estación 5 intersección de la carrera 15 con la calle 13	45
3.4.6	Estación 6 intersección de la carrera 15 con la calle 14	46
3.4.7	Estación 7 intersección de la carrera 15 con la calle 15	47
3.4.8	Estación 8 intersección de la carrera 15 con la calle 20	47
3.4.9	Estación 9 intersección de la carrera 15 con la calle 21	48
3.4.10	Estación 10 intersección de la carrera 15 con la calle 28 ^a	49
3.5	INFORMACIÓN DE CAMPO ESTUDIO DE VELOCIDADES Y COLAS	49
3.6	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO EN EL CORREDOR (SITUACION ACTUAL)	51
3.6.1	Condiciones de los dispositivos de control.....	54
4	DESARROLLO DE LOS MODELOS DE EVALUACIÓN	55
4.1	EVALUACIÓN CORREDOR AVENIDA LOS ESTUDIANTES	55
4.1.1	Construcción del modelo.....	56
4.1.2	Calibración y validación del modelo.....	60
4.1.3	Construcción de modelo para escenario 2	63
4.1.4	Construcción de modelo para escenario 3	64
4.1.5	Construcción de modelo para escenario 4	66
4.2	Presentación de resultados de la simulación.....	66
4.2.1	Modelación de Escenario No 1.....	67
4.2.2	Modelación de Escenario No 2.....	69
4.2.3	Modelación de Escenario No 3.....	70
4.2.4	Modelación de Escenario No 4.....	71
4.2.5	Comparación de escenarios	72
4.2.6	Comparación de escenarios No 1 y No 2	76
4.3	LA SIMULACIÓN PARA ANÁLISIS DE IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN EL CORREDOR	79
4.3.1	Presentación de resultados (Evaluación del impacto de la motocicleta en la red)	80
4.4	LA SIMULACIÓN ESCENARIO CARRIL EXCLUSIVO PARA MOTOS ...	82
4.4.1	Construcción del modelo.....	83
4.4.2	Características de las sesiones a proponer.....	84



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

4.4.3	Presentación de resultados.....	86
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
6	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	96



LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Comparación entre modelos analíticos y de simulación	21
Tabla 2-2 Factores medios de equivalencia de los distintos tipos de vehículos para una vía urbana	27
Tabla 3-1 Intersección de la avenida de los estudiantes	34
Tabla 3-2 proyección vehicular 2010-2014.....	37
Tabla 3-3 Velocidades observadas	50
Tabla 3-4 Velocidad Corredor Carrera 15 sentido NS	50
Tabla 3-5 Velocidad Corredor Carrera 15 sentido SN	51
Tabla 3-6 Longitud media de cola observada.....	51
Tabla 4-1 Escenarios modelado.....	55
Tabla 4-2 Intersecciones incluidas en el modelo.....	56
Tabla 4-3 Factores de equivalencia	64
Tabla 4-4 Indicadores de evaluación de la red	66
Tabla 4-5 Niveles de servicio	67
Tabla 4-6 Características operacionales de la red. Escenario No 1	68
Tabla 4-7 Evaluación niveles de servicio de las intersecciones. Escenario 1	68
Tabla 4-8 Características operacionales de la red. Escenario No 2.....	69
Tabla 4-9 Evaluación de niveles de servicio de las intersecciones. Escenario 2 FEM 0.33	70
Tabla 4-10 Características operacionales de la red. Escenario No 3.....	70
Tabla 4-11 Evaluación de niveles de servicio de las intersecciones. Escenario 3.....	71
Tabla 4-12 Características operacionales de la red. Escenario No 4.....	71
Tabla 4-13 Evaluación de niveles de servicio de las intersecciones. Escenario 4.....	72
Tabla 4-14 Parámetros de desempeño de la Red.....	72
Tabla 4-15 Comparación de demora totales en las intersecciones	73
Tabla 4-16 Cola máxima por intersección.....	73
Tabla 4-17 Características operacionales para tránsito heterogéneo y homogéneo	76



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Tabla 4-18 Datos entrada situación actual.....	79
Tabla 4-19 Afectación de volúmenes de tránsito	80
Tabla 4-20 Parámetros evaluación de la red.....	80
Tabla 4-21 Características de las motocicletas.....	83
Tabla 4-22 Anchos de carriles propuesto	85
Tabla 4-23 Relación ancho de carril- volumen -velocidad.....	86
Tabla 4-24 Demoras para diferentes anchos de carril	88
Tabla 4-25 Indicadores Modelo logarítmico de Flujo vehicular	91



LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Esquema de los diferentes niveles de simulación.....	21
Figura 2-2 Parámetros microscópicos	23
Figura 2-3 Proceso de calibración (Manraj Singh Bainsa, 2012).....	29
Figura 2-4 modelo de widemann 74.....	32
Figura 3-1 Localización puntos de aforo.....	34
Figura 3-2 Crecimiento vehicular < 1980 - 2009	36
Figura 3-3 Venta de motos en los ultimos 10 años.....	38
Figura 3-4 Muertes por accidentes de transporte, Colombia, 2003-2012	39
Figura 3-5 Lesionados por accidentes de transporte, Colombia, 2003-2012	39
Figura 3-6 Muertes por accidentes en Riohacha	40
Figura 3-7 Cobertura del sistema de Transporte Público.	42
Figura 3-8. Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 7	43
Figura 3-9 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 10	44
Figura 3-10 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 11 y 11a.....	44
Figura 3-11 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 12	45
Figura 3-12 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 13	46
Figura 3-13 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 14	46
Figura 3-14 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 15	47
Figura 3-15 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 20	48
Figura 3-16 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 21	48
Figura 3-17 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 28a.....	49
Figura 3-18 Volúmenes avenida los estudiantes	52
Figura 3-19 volúmenes Autos vs Motos.....	53
Figura 3-20 Volúmenes heterogéneo y homogenizado	54
Figura 4-1 Creación Tipo de Vehículo	57
Figura 4-2 parámetro de comportamiento de conducción	58



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Figura 4-3 Parámetros de Simulación	60
Figura 4-4 Simulación de la intersección carrera 15 con calle 15.....	62
Figura 4-5 Comparación colas observadas simuladas (m)	63
Figura 4-6 Comparación demoras observadas vs demoras simuladas (segundos).....	63
Figura 4-7 Rutas Alternativas para motocicletas.....	66
Figura 4-8 Demora media por vehículo en los escenarios evaluados.....	74
Figura 4-9 Comparación cola máxima diferentes escenarios	75
Figura 4-10 Comparación de demoras para tránsito heterogéneo y homogéneo	77
Figura 4-11 Comparación cola máxima para tránsito heterogéneo y homogéneo	78
Figura 4-12 Incremento de motos vs Velocidad media (km/h).....	81
Figura 4-13 Incrementos de Motos vs Demora total (hr)	82
Figura 4-14 parámetros de Comportamiento del conductor.....	84
Figura 4-15 sección típica para conducción de motocicleta.....	85
Figura 4-16 Velocidad vs ancho de carril vs volumen	87
Figura 4-17 Demora vs volumen para diferentes anchos de carril	88
Figura 4-18 Velocidad vs Densidad para Ancho de carril 1.8.....	89
Figura 4-19 Velocidad vs Densidad para Ancho de carril 2.0.....	90
Figura 4-20 Velocidad vs Densidad para Ancho de carril 2.4.....	90
Figura 4-21 Diagrama Flujo vs Densidad para carril 2.0 m	92
Figura 4-22 Diagrama Velocidad Vs Densidad para carril 2.0 m	92
Figura 4-23 Diagrama Velocidad Vs Flujo para Carril 2.0 m	93



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

LISTA DE ANEXOS

- Anexo I. Recolección y análisis de información primaria
- Anexo II. Resultados de la modelación



1 INTRODUCCIÓN

La planeación, diseño, operación, regulación y control de la infraestructura de transporte de los centros urbanos considera varios aspectos entre los que se incluye el acelerado crecimiento de los centros urbanos y de la tasa vehicular, los cambios económicos, las preocupaciones por el impacto ambiental, la congestión y otras externalidades asociadas al transporte. La realidad del flujo de tránsito de las ciudades de hoy, donde se observa tránsito heterogéneo conformado por vehículos motorizados (automóviles, buses, camiones y motocicletas) y no motorizados (carros de tracción animal, bicicletas o alados por humanos) con movimiento lento (bicicletas) y rápido (motocicletas), con variación de tamaño y control de manejabilidad, variadas características dinámicas y estáticas (fuerza motriz, capacidad de rendimiento, sistema de control y orientación), implica en muchos casos que los conductores no sean capaces de mantener la disciplina de carril (en una sola fila) haciendo movimientos laterales (principalmente los vehículos pequeños como motocicletas, bicicletas etc.).

Otro de los factores incidentes en los conflictos de tránsito es la variación de las dimensiones de los vehículos, lo cual afecta las maniobras de adelantamiento y cruces. Los vehículos grandes ocupan todo el carril, mientras que los pequeños suelen circular por un lado del carril. También se observa que en las intersecciones los vehículos pequeños (motocicletas, bicicletas) usan el espacio lateral entre los vehículos largos, para llegar desde el final de la cola hasta la parte delantera. Como consecuencia de estas complejidades, el uso de modelos de tránsito que representen el comportamiento apropiado de los flujos que existen en una vía, ha tomado especial interés para profundizar y analizar aspectos de una situación actual y evaluar medidas propuestas para mejorar condiciones de tránsito. Estudios en temas de optimización de planeamiento de proyectos (Dellasette, 2008), gestión y operación de tránsito (Coeymans Avaria, 1984) han tenido como principal objetivos medir y optimizar la eficiencia de los dispositivos de control de tránsito, disminuir impactos en tiempo de viaje, demoras, evaluación de seguridad en las intersecciones y tasa de accidentalidad.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Las consecuencias de problemas estructurales entre los que se destacan el bajo nivel de servicio ofrecido por el transporte público, especialmente en áreas urbanas, ha hecho que el uso de la motocicleta sea una alternativa atractiva para muchos usuarios, por la percepción de que ofrece mejor accesibilidad (servicio puerta a puerta), menor tiempo de viaje y bajo costo de adquisición y operación (Hussaina, Umarb , & Farha, 2011). Por ello no es extraño que las ciudades colombianas hayan sentido un impacto en el tránsito, trayendo como consecuencias un incremento en la tasa de accidentalidad, desorden en operaciones y control de tránsito, entre otras. La entrada masiva de este tipo de vehículo ha tenido un alto impacto en la composición del tránsito, haciéndolo más heterogéneo, y el consecuente surgimiento de nuevos conflictos, llevando a reevaluar la forma tradicional como se ha venido trabajando en la Ingeniería de Tránsito para diagnósticos, evaluaciones, diseño e implementaciones de medidas de optimización de tránsito. Ante este hecho, es necesario implementar técnicas más refinadas para el análisis, entre las que se destaca el uso de la simulación. Las mayor parte de las investigaciones en Ingeniería de Tránsito se han realizado suponiendo condiciones de tránsito homogéneo (las características físicas, mecánicas, dinámicas de los vehículos de la corriente de tránsito no varía mucho); no obstante, las nuevas realidades exigen un enfoque diferente.

En la presente investigación se evalúa un caso de estudio de la Avenida de los Estudiantes (carrera 15) entre calles 7 y 28ª, corredor Norte - Sur ubicada en el municipio de Riohacha; departamento de La Guajira, Colombia, que resulta representativa de las condiciones de flujo constituido por vehículos con características diferentes. Esta condición de heterogeneidad será evaluada con detalle en el corredor piloto elegido mediante el uso de técnicas de simulación.

1.1 OBJETIVOS

La presente investigación pretende evaluar en primera instancia los impactos en el tránsito heterogéneo, con un alto contenido de motocicletas, mediante el uso de simulación de modelos microscópicos, aplicándolo en un caso particular en una arteria urbana del



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

municipio de Riohacha, con el fin de diagnosticar, analizar y posteriormente evaluar alternativas que permitan mejorar las condiciones de movilidad.

1.1.1 Objetivos específicos

- Desarrollar, construir, calibrar y validar modelos de simulación microscópico para el caso en estudio.
- Caracterizar las condiciones de aplicación del modelo de simulación, mediante la calibración y validación en la red vial estudiada.
- Evaluar indicadores del nivel de servicio en el corredor piloto, bajo diferentes condiciones de flujo heterogéneo mediante herramientas de simulación.
- Evaluar factores de equivalencia de motocicletas.
- Proponer y simular medidas de gestión de tránsito, motovías, canales exclusivos para mejorar el nivel de servicio del corredor piloto, atendiendo las consideraciones de heterogeneidad del flujo.

1.2 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Considerando el crecimiento exponencial en el uso de la motocicleta en Riohacha, tendencia que se espera continúe en los próximos años, a continuación se presentan algunos interrogantes como preguntas de investigación que definen el problema: ¿En el uso de las herramientas de microsimulación, resulta más conveniente considerar la variabilidad en los flujos vehiculares, que definen una condición heterogénea, que la aproximación orientada a homogeneizar el flujo mediante el uso de equivalencias?, ¿Es posible en estos casos utilizar efectivamente la simulación microscópica de tránsito como medio de evaluación, diseño, optimización e implementación de estrategias de gestión del tránsito heterogéneo?, ¿Cuál es el impacto de la heterogeneidad en el flujo sobre la calidad de la circulación?, en caso de considerar tránsito homogéneo, ¿Cuáles son las condiciones geométricas apropiadas de carriles exclusivos para motocicletas?, ¿Cuál es el factor de equivalencia más apropiado para las motocicletas?, ¿Qué modelo define mejor el comportamiento macroscópico de carriles exclusivos para motocicletas?



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

1.3 HIPÓTESIS

La investigación parte de la hipótesis que indica que las herramientas de simulación son apropiadas para evaluar el impacto de flujo heterogéneo, en el tránsito de un corredor vial urbano, proporcionan una mejor representación de la realidad que el enfoque de homogeneización utilizando equivalencias vehiculares.

También se plantea como hipótesis que la mayor heterogeneidad de un tránsito afecta negativamente la calidad de circulación, dado que con la llegada masiva de motocicletas se generan conflictos con otros vehículos por las diferencias en su operación, afectándose los niveles de servicios y la calidad de la circulación. Ello puede conllevar a evaluar la conveniencia de plantear estrategias de gestión de tránsito para segregar los flujos.

1.4 CONTRIBUCIONES

El estudio y análisis de simulación de una red, con tránsito heterogéneo, es de gran interés en el país; principalmente en las regiones donde el crecimiento de vehículos de dos ruedas motorizado (motocicletas) ha tomado importancia en la dinámica de movimiento de las personas (prestación del servicio público o privado). Ello considerando que esta condición de heterogeneidad ha traído como consecuencia el incremento en la accidentalidad.

La investigación desarrolla modelos de comportamiento del flujo vehicular en infraestructura especializada para motocicletas, hallando relaciones básicas entre las variables fundamentales: flujo, velocidad y densidad. Ello ha permitido realizar estimaciones de capacidad en este tipo de infraestructura y proponer especificaciones geométricas. De igual manera, se evalúan diferentes factores de equivalencia para motocicletas, evaluando el más apropiado a utilizar si se recurre a la estrategia de homogeneizar el flujo para fines de análisis.

El trabajo aquí descrito realiza un análisis de los resultados que se han obtenido con la simulación, basada en modelos para tránsito heterogéneo, lo que redundará en la evaluación y puesta en marcha de ajustes a la infraestructura vial y gestión de tránsito, en comparación



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

con el ejercicio de simulación realizada con modelos en los cuales el tránsito es homogenizado. Se busca además incentivar una línea de investigaciones sobre el problema planteado, proporcionando un punto de partida para el desarrollo de modelos, ajustado a las condiciones típicas de países en vías de desarrollo, en los que existe una alta heterogeneidad en la tipología de los flujos urbanos.

El documento inicialmente presenta un marco referencial sobre el problema; posteriormente describe la metodología empleada, continuando con la presentación de resultados y finalmente se concluye y se describen algunas recomendaciones para mejorar el ejercicio de simulación.



2 MARCO TEÓRICO

El término "gestión del tránsito" se refiere al proceso de ajuste o adaptación de la utilización de una red existente de carreteras para alcanzar unos objetivos concretos sin recurrir a la construcción de nuevas carreteras (Seco & Rebeiro, 2002).

Como consecuencia del desarrollo de las ciudades, ha crecido significativamente el volumen de tránsito con alta variación en la composición vehicular, con el consecuente deterioro en la calidad del servicio, aumento de la congestión y el número de accidentes, entre otras externalidades. Para enfrentar estos problemas, la gestión de tránsito, ha alcanzado un notable desarrollo en el uso de herramientas tecnológicas que permiten generar diversas alternativas de solución apoyadas en conocimientos matemáticos y científicos. Algunas propuestas relativamente simples mejoran las condiciones de viaje, logrando beneficios significativos en términos de aumento de capacidades, mejora del medio ambiente, o en seguridad.

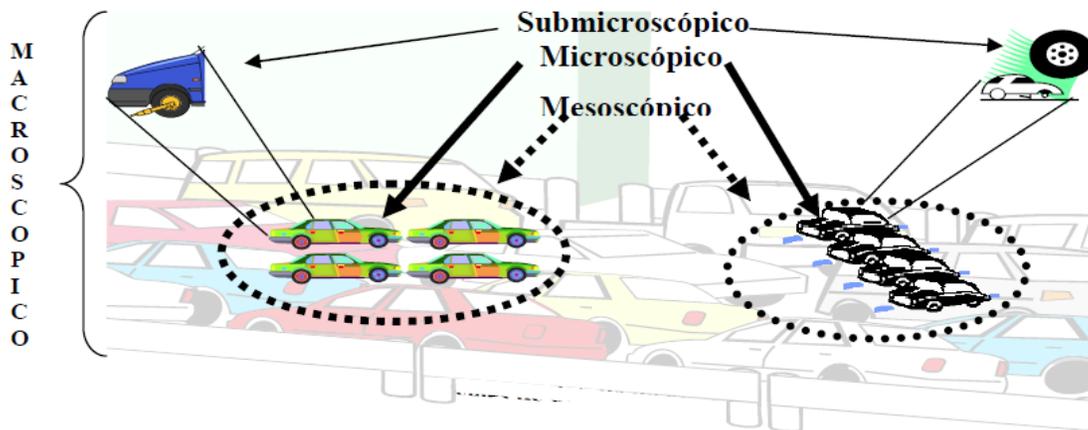
La simulación de modelos de tránsito se ha reconocido como una de las mejores herramientas para el modelado del flujo tanto en condiciones homogéneas, como heterogéneas (Manraj Singh Bainsa, 2012). Los modelos de simulación microscópica demuestran beneficios en la toma de decisiones al público y a los técnicos, debido a que pueden observar una representación visual de una propuesta y los efectos sobre las operaciones de tránsito. De hecho, la representación visual del problema, la solución en un formato comprensible y la presencia de un profesional, puede ser un medio poderoso para ganar más aceptación de las complejas estrategias de simulación microscópica, diferentes significativamente de los convencionales modelos "agregados" de tránsito, en los cuales los flujos se simulan mediante modelos pre-establecidos de capacidad, en tanto que los modelos microscópicos simulan el comportamiento individual de los vehículos en la red.

2.1 NIVELES DE MODELACIÓN

De los aspectos más relevantes que se estudia son los conceptos, diferencias y aplicación de las plataformas de simulación, debido a que el desconocimiento de éstas puede inducir a errores y generar soluciones de tránsito inadecuadas. Comúnmente se establecen tres categorías de plataformas de acuerdo al modelo de tránsito que se utiliza (D. Robles.,

2009). Un primer nivel de análisis corresponde a la macro simulación, que consiste en establecer los patrones de viajes mediante la construcción de las matrices origen – destino y la asignación de viajes a los modos y rutas disponibles; en este caso, dada la naturaleza del proyecto este nivel no ha sido tratado en detalle. Los restantes niveles de análisis, de acuerdo con la descripción de la Figura 2-1, corresponden a, meso, micro simulación y submicroscópico de redes de tránsito vehicular, dada la determinación de las condiciones actuales de operación de la red vial, mediante los trabajos de campo que se han adelantado previamente.

Figura 2-1 Esquema de los diferentes niveles de simulación



Fuente: (Gonzalez Calleros, Rodríguez Gómez, & Martínez Carballido, 2003)

La simulación permite experimentar con el modelo las diferentes soluciones que se deseen probar, para su evaluación y descarte. Por esto es válido afirmar que el proceso de simulación es análogo al proceso de experimentación en un laboratorio. En la Tabla 2-1, se pueden observar algunas diferencias relevantes, con los modelos analíticos.

Tabla 2-1 Comparación entre modelos analíticos y de simulación

CARACTERÍSTICA	MODELO ANALÍTICO	MODELO DE SIMULACIÓN
Referencia de tiempo	No siempre se considera	Tiempo especificado
Presentación de resultados	Resultado único	Variaciones aleatorias
Representación	Macroscópica Microscópica	Macroscópica Microscópica



2.2 CARACTERÍSTICAS DE FLUJO VEHICULAR

Esta sección pretende referenciar algunos indicadores relevantes para el análisis de flujo.

2.2.1 Parámetros macroscópicos

Entre los parámetros macroscópicos que definen el comportamiento del flujo se destacan los siguientes:

Volumen: es el número de vehículos que pasan por un punto durante un periodo determinado. Generalmente se expresa en vehículos por hora (veh/h), aunque esto no implica que sea medido específicamente durante una hora (Fernández, 2008).

Tasa de flujo: representa el número de vehículos que pasan por un punto durante un intervalo menor de 1 hora (normalmente de 15 minutos), pero expresado como una tasa horaria equivalente (veh/h) (Transportation Research Board, 2010).

Factor de hora pico: Es la relación entre el volumen horario total y la tasa de flujo pico dentro de la hora, calculado con la Ecuación 1 (Transportation Research Board, 2010)

$$FHP = \frac{\text{Volumen Horario}}{\text{Tasa de flujo pico (dentro de la hora)}} \quad (\text{Ec.1})$$

Velocidad: es la relación entre el espacio recorrido y el tiempo recorrido (Radelat, 2003). Normalmente se expresa en kilómetros por hora (km/h).

Densidad: es el número de vehículos por unidad de longitud de la vía (Radelat, 2003) y se expresa en vehículos por kilómetro (veh/km).

2.2.2 Parámetros microscópicos

Estos parámetros se pueden clasificar en dos grupos (Radelat, 2003): los temporales (headway o intervalo, brecha y paso) y los espaciales (espaciamiento, separación y longitud).

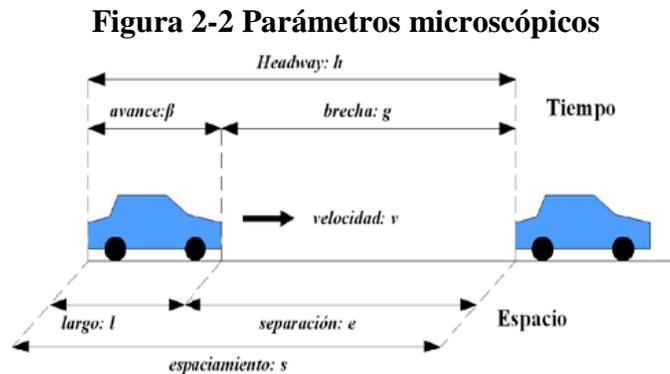
Headway o intervalo: es el intervalo de tiempo transcurrido entre el paso de puntos homólogos de vehículos consecutivos (v.g. entre ejes delanteros). Por lo general se mide en segundos (Fernández, 2008).



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Espaciamiento: es la distancia en metros entre dos vehículos consecutivos, que se mide desde puntos homólogos (Radelat, 2003); (Fernández, 2008).

Estos y otros parámetros microscópicos son representados en la Figura 2-2.



2.3 REVISION DE ESTUDIOS DE SIMULACION

El trabajo de Callan Stirzaker¹ and Hussein Dia (2007), presenta un enfoque de una simulación de tránsito para evaluación de estrategias de gestión transporte, con el propósito de maximizar la utilización de infraestructura vial, considerando un caso de estudio de mejoramiento de infraestructura, de un viaje en el corredor Brisbane, Australia, en él fue desarrollado un detallado modelo de simulación de tránsito utilizado para evaluar diferentes estrategias de gestión. Estos tratamientos revisan la capacidad vial en un carril de buses (disponible solo para buses) y en carriles de alta ocupación de vehículos. El resultado de la simulación muestra que un carril exclusivo para buses produce mejores tiempos de viaje para buses (disminuyendo en 19% tiempo de viaje y 68% de aumento en beneficios respecto de usar otras vías). El trabajo reportado demuestra la viabilidad de usar simulación de tránsito para cuantificar beneficios de alternativas de infraestructura, basadas en estrategia de modelación de vehículos individuales y sus iteraciones sobre una red vial.

Dellasette (2008), realizó un estudio en el que se analizó el uso de la herramienta de microsimulación de tránsito en la planificación de proyecto de la red de autopista. Allí se explica la implementación de la metodología, el análisis detallado disponible para el diseño, el grado de fiabilidad de evaluaciones, la potencialidad de herramienta en todo el estudio y diseño de las fases, incluyendo acuerdos con el público - ya usada en el exterior en varios



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

sitios muy importantes como Manhattan, Miami y el Valle de Silicio – mostrando ejemplos prácticos desarrollados en Italia, entre los que se destacan el caso de una parte de la carretera de circunvalación de Roma, la autopista de A10 entera (de Ventimiglia a Génova) y la red de autopista de Alessandria.

De las principales conclusiones de estos antecedentes se extrae que la simulación microscópica pueda ser usada en las áreas extendidas para muy buenos propósitos, permitiendo la evaluación del estado actual de la red y la definición de los puntos críticos. El análisis toma en cuenta no solo arcos de red, sino también nodos (uniones) y otros elementos de red específicos. Por lo tanto, la simulación microscópica es una herramienta que podría ser esencial para proyección de nuevas vías y para la evaluación de proyectos de intersecciones. Además, son útiles para un análisis detallado de impactos y accidentes, para la verificación de los parámetros ambientales relacionado con emisiones, la evaluación de impacto de tránsito pesado, entre otras potencialidades.

Es posible simular diferentes condiciones de tránsito con adecuados niveles de realismo y detalle, de modo que la metodología pueda ser aplicada al análisis de seguridad de la infraestructura, proporcionando la información útil para identificar conflictos y sitios críticos. Adicionalmente, permite evaluar el impacto de intervenciones en el sistema.

En otro trabajo realizado por Chanca Cáceres (2004), el objetivo principal fue el de obtener una herramienta para simular el tránsito urbano que permita observar el comportamiento de la red vial ante variaciones de los parámetros que configuran su operación, de forma que se pudiera experimentar las distintas políticas de control antes de ponerlas en funcionamiento en la red semafórica y observar el comportamiento del tránsito ante posibles incidencias en la vía, como bloqueos o incrementos en la demanda por eventos públicos. Para este trabajo se utilizó el software Arena 6.0 ® para modelar y simular el tránsito urbano, la cual permite gestionar el modelo, busca la información de situaciones de tránsito y planes de regulación, registra y guarda toda la información de cada experimento para posteriormente, cuando se ejecuta la simulación, permita realizar un informe sobre las medidas de prestaciones previstas. Los autores concluyen que con el desarrollo de un modelo de simulación microscópica se puede lograr un apropiado diseño del sistema semafórico, notando que los detalles son relevantes por la alta sensibilidad del sistema ante variables como el manejo de



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

los desfases, de manera que si no son bien calculados puede generarse altas congestiones. Es tan útil la herramienta que varias ciudades, entre ellas Zaragoza (España), cuenta con herramientas de este tipo que son utilizadas para prever situaciones de tránsito, analizar políticas de control antes de implantarse en la calle y para anticiparse a los problemas generados por las obras en la ciudad o para estar preparados ante eventos que generan importantes crecimientos en la demanda.

Coeymans Avaria (1984), evalúa los modelos de simulación microscópica más utilizados, definiendo sus principales limitaciones y perspectivas en Chile. Entre los grupos de modelos evaluados están los microscópicos, en los cuales el desplazamiento de cada vehículo es seguido a través de la red en estudio, siendo posible simular detalladamente la interacción vehículo-vía; ejemplos de modelos con estas características son Netsim y Traffic. Otro grupo de modelos que se caracteriza por simular los vehículos en pelotones o frentes, Transyt/8 y Saturn que corresponden a simulación macroscópica. Finalmente, se tienen los modelos que constituyen el grupo llamada simulación analítica, en donde los vehículos se asignan a la red de acuerdo a condiciones de tránsito expresada en funciones del tipo de flujo – demora o función de demora en los enlaces, entre estos están Contram, Latm y Microassignment. La conclusión más importante obtenida por el autor es que ninguno de los grupos de modelo analizados puede simular en forma independiente todas las posibles medidas que emplea la gestión de tránsito, porque son complementarios. En efecto, los modelos macroscópicos tienen algoritmos de asignación que permiten estudiar los efectos de cambio de ruta generado por medidas de gestión de tránsito, pero no pueden ir al detalle de simular el comportamiento de los vehículos, en términos de cambio y bloqueo de carril o casos como los efectos de paraderos debido a la aceleración y desaceleración de los vehículos. Por otra parte, los modelos microscópicos, sin la posibilidad de resignar, su empleo quedan limitado como herramienta de gestión de tránsito. En definitiva, el autor establece la conveniencia de combinar las diferentes técnicas.

La definición de flujo de tránsito heterogéneo está soportada en la diferencia de características físicas y mecánicas del vehículo (variados rangos de dimensiones físicas, pesos y características dinámicas), y en el hecho que el flujo mezclado origina conductas



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

no deseadas como el no seguimiento de disciplina de líneas, diferencias significativas en la velocidad de operación y la aceleración de los distintas tipologías, incrementa la varianza, entre otros. De ahí la relevancia de conocer la composición del volumen vehicular, los tipos y la formas de estos con el fin de evaluar los niveles de heterogeneidad y su incidencia sobre la operación del sistema.

Es diferente el caso de los flujos considerados homogéneos, en el que su análisis y estudio indica características similares en cuanto a dimensiones físicas, pesos y características dinámicas, lo que ha llevado a que se proponga como medida de gestión la segregación de infraestructura para evitar los conflictos generados de las diferencias entre las tipologías vehiculares.

2.3.1 Simulación en tránsito homogéneo

Varias investigaciones, entre ellas la desarrollada por Elbersa & Van Berkuma, (2003), confirman la hipótesis de que si el tránsito es menos homogéneo, se hallan brechas más aceptables para la concentración de vehículos. Las medidas que busquen homogeneizar el flujo ayudan a mantener el tránsito fluido en los cuellos de botella; sin embargo, deben tomarse medidas adicionales para garantizar la eficiencia de la intervención. Una alternativa comúnmente utilizada para enfrentar el problema de modelar flujos heterogéneos consiste en homogeneizar los flujos considerando factores de equivalencia vehicular, en los que se expresa el efecto promedio que tiene una tipología vehicular respecto de un patrón, normalmente un vehículo ligero que viaja directo. Esta aproximación, de uso extendido, no permite representar en detalle las interacciones entre los diferentes vehículos.

2.3.2 Simulación de tránsito heterogéneo

Cuando diferentes tipos de vehículos comparten el mismo carril, sin ninguna separación física, la interacción de ellos varía ampliamente con la variación de la mezcla de tránsito y las condiciones del tránsito. Esta condición también genera un significativo nivel de fricción entre los vehículos en movimiento adyacentes en el flujo de tránsito. En situaciones de tránsito heterogéneo, cuando se tienen altos volúmenes de tránsito una gran proporción de vehículos motorizados de dos ruedas y las bicicletas son capaces de moverse con



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

velocidades más cerca de sus velocidades libres, debido a su capacidad de utilizar espacios más pequeños en el flujo de tránsito. Esta característica observada de tránsito heterogéneo es compleja para modelar sin el análisis de los datos de campo sobre las interacciones vehiculares y no puede ser fácilmente representada mediante el uso de equivalencias vehiculares (Mallikarjuna Chunchu1, 2011).

En los últimos tiempos, varios estudios han empezado analizar los eventos de tránsito heterogéneos. Maini & Khan, (2000) analizaron la velocidad de descarga en la intersección con flujo mixto, involucrando cuatro diferentes tipos de vehículos (motocicletas, tricimotos, automóviles y autobuses) en dos intersecciones de dos ciudades de India (Baroda y Nueva Delhi). Concluyeron que la variación de velocidad con que los vehículos atraviesan la intersección (descarga para diferentes tipos de vehículos) no varía significativamente para cada tipo de vehículo y que la velocidad de pelotón puede ser más relevante para el estimar la capacidad de una intersección señalizada. El estudio realizado por Aransan & Vedagiri, (2009), evaluó el uso de carriles exclusivos mediante técnicas de microsimulación y su efecto sobre el flujo heterogéneo en vías urbanas en la India, en términos de la reducción de la velocidad de otras categorías de vehículos debido a la posible reducción del espacio disponible para ellos. Sus resultados indican que es posible segregarse el flujo de buses logrando una mejora en el nivel de servicio de los usuarios de transporte público asegurando un apropiado nivel de servicio para otros vehículos.

Una acción común para la modelación del tráfico heterogéneo es convertir todos los vehículos a un equivalente, la Tabla 2-2 se muestran valores internacionales típicos usados (Road Research Laboratory., 1965), los cuales se utilizarán en la presente investigación.

Tabla 2-2 Factores medios de equivalencia de los distintos tipos de vehículos para una vía urbana

Tipo de vehículos	Factor de equivalencia (veq)
Auto	1,0
Camión liviano	1,0<C2
Camión Medio o Pesado	1,75;C2,C3
Bus	2,25
Camión Articulado	2,5
Moto	0,33
Bicicleta	0,20



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

(Road Research Laboratory., 1965)

Estudios realizados en Colombia para el caso específico de las motocicletas proponen como valores de equivalencia en tramos para la ciudad de Bogotá, del orden de 0.07 con velocidades de 10km/h en dos carriles y valores de 0.16 en velocidades de 80 km/h en dos carriles (Siachoque, 2014). También se ha usado en Colombia un valor para equivalencia de motocicletas de 0.75 el cual ha sido empleado por la secretaria de la secretaria de transito y transporte de la ciudad de Manizales (Agudelo Torres, 2006).

Para el análisis de estos valores se realizaran las respectivas simulaciones a fin de observar el comportamiento para las diferentes equivalencias.

En la construcción de un modelo se deben desarrollar un conjunto de etapas con el fin de que se suministre al modelador análisis para la toma de decisiones. Las etapas más comunes que considera un modelo son:

1. Definición del problema
2. Desarrollo y construcción del modelo
3. Recolección de la información
4. Solución del modelo
5. Calibración y Validación del modelo
6. Implementación y puesta en marcha

2.3.1 Calibración del modelo de simulación

Calibración (John Hourdakís1, 2003) es el proceso en el cual los parámetros del modelo de simulación se optimizan al mayor grado posible, para obtener resultados cercanos entre las medidas simuladas y las reales de tránsito, que incluyen sobre todo volumen, demoras, colas, velocidad y ocupación. La Figura 2-3 ilustra la secuencia del proceso de calibración.

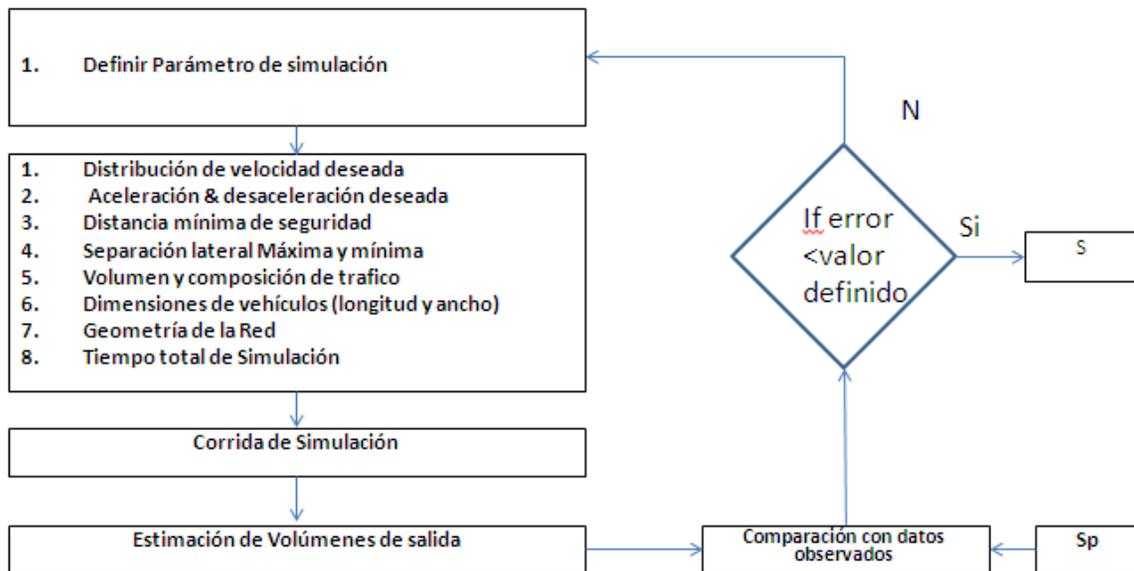
Una vez construido el modelo, se debe ajustar los parámetros para que este replique los datos observados en el sitio, con suficiente nivel de satisfacción. El proceso incluye ajustes a características de distribución de velocidad deseada, aceleración/desaceleración de vehículos, características mecánicas del vehículo, distancia mínima de seguridad, distancia mínima lateral y característica de conducción del conductor.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Estos parámetros calibrados para la situación actual se convierten en datos de entrada del modelo cuando se utiliza para evaluar diferentes escenarios. En la presente investigación los datos de entrada fueron volúmenes, velocidades, colas y demoras. Además, diferentes comportamientos de los conductores fueron considerados para cada tipo de vehículo como resultado de las observaciones y mediciones realizadas sobre el corredor piloto evaluado.

Figura 2-3 Proceso de calibración (Manraj Singh Bainsa, 2012)



2.3.2 Validación del modelo de simulación

Validación puede definirse como la comparación de las salidas del modelo, con los datos reales medidos utilizando información no considerada previamente en la calibración (Manraj Singh Bainsa, 2012). Para tal fin, el modelo calibrado fue utilizado para simular el comportamiento de un tramo no utilizado con fines de calibración. Ello permitió utilizar información independiente para contrastar los resultados del modelo con los indicadores obtenidos en terreno.



2.4 EL SOFTWARE

El modelo de flujo de tránsito VISSIM ® es un modelo de simulación microscópica discreto, estocástico, en el cual las conductas y los tiempos de simulación son basados en el comportamiento del conductor y toma como unidades individuales el vehículo y conductor. Considera un modelo de seguimiento vehicular que sigue un modelo psico-físico para el movimiento longitudinal del vehículo y un algoritmo basado en reglas para los movimientos laterales. El modelo es basado en el trabajo continuo de Wiedemann (Fellendor & Vortisch, 2001), y es ampliamente utilizado para analizar el tránsito urbano y la operación del transporte público. VISSIM puede analizar el funcionamiento del tránsito bajo diferentes condiciones de las vías, la composición del tránsito, el control de intersecciones constituyéndose en una herramienta para una evaluación útil de varias alternativas diseñadas para el funcionamiento del tránsito, bajo un planeamiento efectivo de la intersección o la red analizada.

2.4.1 Modelo de Seguimiento de vehículo de Wiedemann

VISSIM usa el modelo del comportamiento psicofísico del conductor desarrollado por (Wiedemann, 1974). Los vehículos siguen uno a otro en un proceso de oscilación. Cuando un vehículo más rápido se acerca a un vehículo más lento en un solo carril se ajusta su separación. El punto de acción o de reacción consciente depende de la diferencia de velocidad, la distancia y el comportamiento del conductor. En conexiones de multi-carril se verifica si los vehículos manejan cambiando de carriles. Si ese es el caso, ellos verifican la posibilidad de encontrar los espacios aceptables en carriles vecinos. El seguimiento de vehículos y el cambio de carril forman un conjunto integrado en el modelo de tránsito.

El movimiento longitudinal de los vehículos está influenciado por los vehículos que viajan al frente en el mismo carril. Es por esto que el modelo es llamado el “modelo del seguimiento de vehículos”. Un conductor está directamente influenciado por el primer vehículo que viaja al frente suyo ya que el segundo vehículo tendrá alrededor del doble de la distancia; por lo tanto este modelo se concentra en la influencia del primer vehículo que está al frente, incluyendo la opción de frenado.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

La influencia del movimiento está caracterizada por la percepción del movimiento relativo del vehículo del frente, cambios en la distancia y en la diferencia de velocidades. Estos cambios son percibidos si el impulso físico excede un cierto valor mínimo, llamado umbral. La percepción de los cambios depende de qué tan rápido la imagen del vehículo del frente cambie, la cual es una función de la diferencia de velocidades y distancias.

2.4.1.1 Umbrales del Modelo

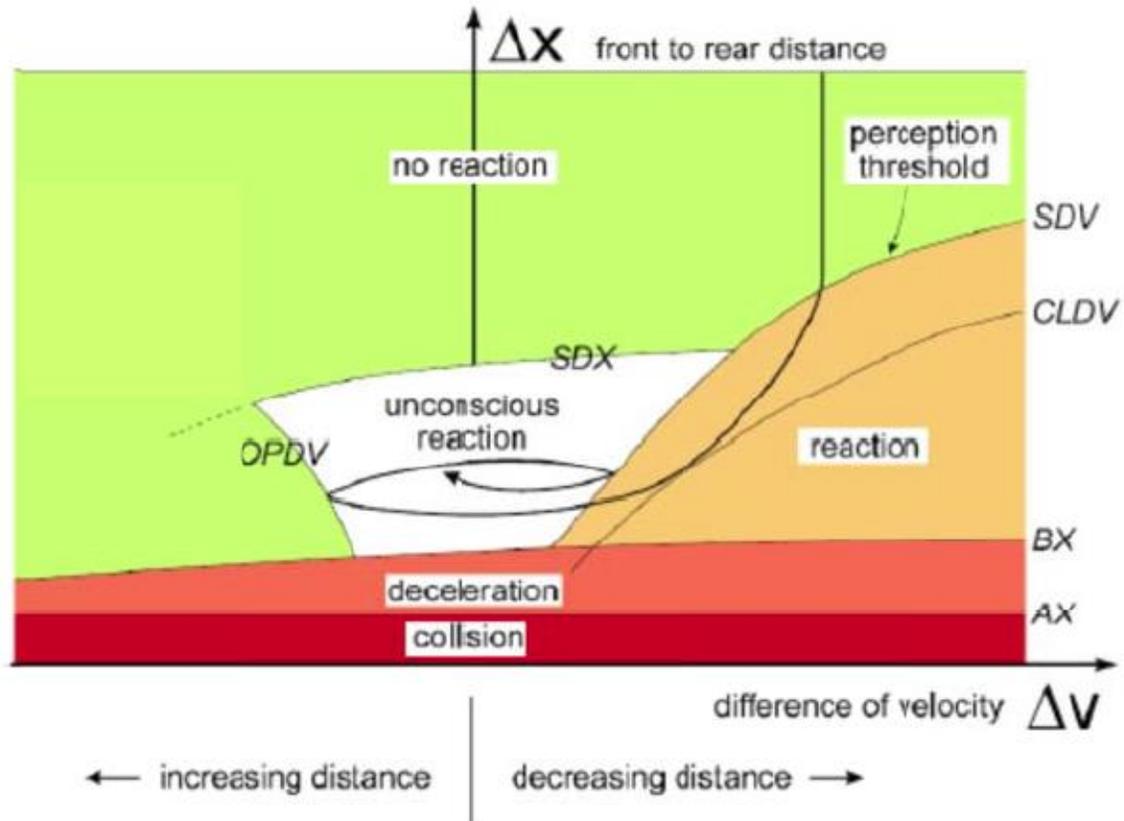
El comportamiento humano tiene una distribución natural: En diferentes conductores se encuentra diferencias en la habilidad a la percepción y estimación, en las distancias de seguridad, en los deseos de velocidad, y en la aceptación de las máximas aceleraciones o deceleraciones; las cuales son características de la agresividad en la conducción. Algunos de estos parámetros también dependen de la capacidad de los vehículos como lo son: la máxima velocidad y máxima aceleración y deceleración. Esto es un fenómeno natural que puede ser representado por distribuciones normales aunque no se tiene un conocimiento exacto acerca de estas distribuciones, por lo tanto diferentes parámetros se usarán al azar dentro del modelo para calcular los valores del umbral y las funciones de conducción.

La percepción y reacción están representadas por un conjunto de umbrales y distancias deseadas. Estos umbrales representan diferentes áreas que están asociadas a diferentes situaciones de la interacción entre un vehículo y el vehículo que está frente a él. Estas áreas son:

1. El vehículo no está influenciado por un vehículo que viaje al frente.
2. El vehículo está influenciado porque el conductor percibe un vehículo al frente con una velocidad más baja que la de él.
3. El vehículo empieza un proceso de seguimiento.
4. El vehículo se encuentra en una situación de emergencia.

Por lo tanto, el proceso de conducción de acuerdo a las condiciones dadas se asocia a las diferentes áreas, las cuales son representadas en la Figura 2-4

Figura 2-4 Modelo de Wiedemann 74



Fuente: (Wiedemann, 1974)

Los umbrales son representados para una unidad de vehículo-conductor (I) que viaja a una velocidad (real). El eje horizontal representa la diferencia de velocidades con valores positivos caracterizando el cierre del proceso (la velocidad del vehículo de en frente (I-1) es más baja). Y el eje vertical representa la distancia al vehículo de en frente (I-1).



3 DESCRIPCIÓN DEL CORREDOR PILOTO

El presente proyecto pretende profundizar la teoría de los modelos de microsimulación en tramos de vías con tránsito variado, evaluando de manera especial el impacto de la motocicleta en el flujo heterogéneo. Se enfatiza en la aplicación sistematizada, la calibración y validación del modelo de simulación, realizando un caso de aplicación en una arteria vial del casco urbano del municipio de Riohacha

La red a evaluar presenta en la actualidad problemas de congestión en las intersecciones semaforizadas, en gran medida debido a una falta de optimización de la programación, falta de coordinación de las intersecciones que están separadas por distancias cortas las cuales por momentos están trabajando con diferentes planes de programación. Además, se tienen altas tasas de accidentalidad en las intersecciones de prioridad, lo que se explica en parte por deficiencias en la geometría y el comportamiento inapropiado de los usuarios de la vía, en particular los motociclistas. No obstante, la naturaleza heterogénea del flujo vehicular, destacando la presencia de motocicletas, puede tener una influencia significativa en los problemas operacionales observados.

En la primera etapa de la investigación, se analizó y evaluó completamente la red involucrando diez (10) intersecciones, desde la calle 7 o avenida Calle Ancha hasta calle 28 A. Posteriormente para la segunda etapa, solo se tomó un sector de la red entre las calles 13 y 18 por ser las intersecciones que están generando mayores problemas a la red. Allí fueron evaluados escenarios incrementando el flujo de tránsito, inicialmente motocicletas y posteriormente vehículos hasta llevarlo a un 100%. En la tercera etapa se consideró la segregación del tránsito involucrando un carril exclusivo para motocicletas, para observar su operación se sensibilizaron ancho del carril tomando valores de 1,8, 2,0 y 2,5m, lo que permite evaluar la influencia de la geometría en el nivel de servicio.

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA AVENIDA LOS ESTUDIANTES CALLE 1 HASTA AEROPUERTO

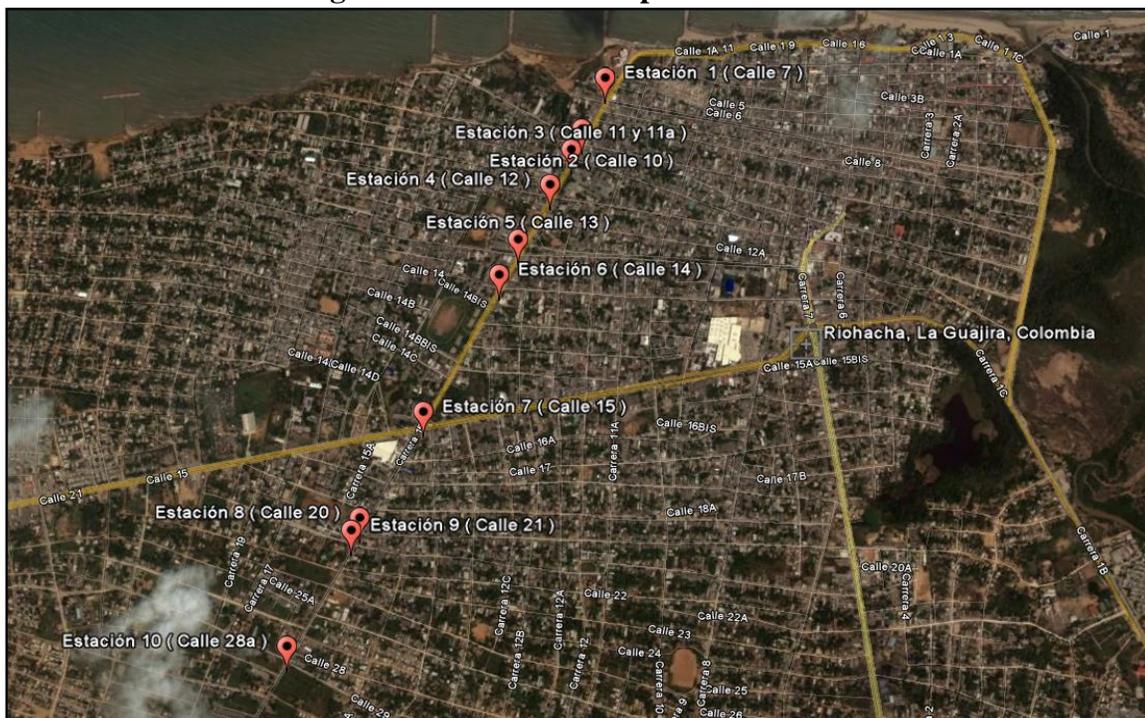
La figura 3-1 muestra la arteria a estudiar: es la denominada Avenida de los Estudiantes, identificada como la carrera 15 entre calles 1 y el aeropuerto Almirante Padilla; siendo un



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

eje que genera movimiento norte sur y una arteria con una longitud de 2,63 km 21 intersecciones de prioridad (operadas con señales de PARE), tres intersecciones semaforizadas y un semáforo para regular paso peatonal. Geométricamente es una arteria urbana de dos calzadas, cada una con dos carriles, con tránsito mixto (Vehículos, motocicletas y bicicletas). Entre los estudios preliminares destaca el de la intersección sobre la calle 15 (Aranburo, 2008).

Figura 3-1 Localización puntos de aforo



Fuente: Google Earth ® con ajustes del investigador.

Tabla 3-1 Intersección de la avenida de los estudiantes

ESTACIÓN	INTERSECCIÓN	TIPO
01	CALLE 7	SEMÁFORO
02	CALLE 10	PARE
03	CALLE 11	PARE
04	CALLE 12	PARE
05	CALLE 13	PARE
06	CALLE 14	SEMÁFORO
07	CALLE 15	SEMÁFORO
08	CALLE 20	PARE
09	CALLE 21	PARE



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

ESTACIÓN	INTERSECCIÓN	TIPO
10	CALLE 28 ^a	PARE

Fuente: Elaboración propia

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MALLA VIAL CIRCUNDANTE

La caracterización de las condiciones actuales de operación del tránsito en la red vial del área de influencia del proyecto se define a partir de tres componentes: El inventario vial con sus características, el servicio de transporte y las condiciones de operación. Adicionalmente se describe el sistema de semaforización existente en el área de influencia. Las condiciones con las que opera la red vial afectada por el proyecto son definidas por medio de las características del sistema vial y de transporte y se han determinado a través de los trabajos de campo e inspección al área de influencia del estudio. Las medidas de las calzadas se tomaron en terreno con levantamiento con cinta; el resto de características por observación directa y registro fotográfico.

El corredor carrera 15 (Avenida los Estudiantes) está categorizado como semiarteria, según el sistema de malla vial principal urbana (POT) y se encuentra delimitada desde la calle 1 hasta el terminal de transportes aéreo Almirante Padilla (calle 34^a), con una longitud de 2.630 metros de los cuales 1.400 m tienen dos calzadas de 6,5 m y un separador de 1,0 m construido en concreto rígido y, de la Avenida El Progreso (Calle 15) hacia el sur hasta el aeropuerto. Los 1.230 m restantes están contruidos en una calzada pavimentada en concreto asfáltico de 7.0 metros de ancho, sin andenes ni bordillos. Sobre este eje se encuentra un centro estudiantil de la ciudad: la institución educativa Liceo Almirante Padilla; otros generadores son el hospital Nuestra Señora de los Remedios, el Estadio Federico Serrano Soto, Centro comercial SAO Olímpica, el Aeropuerto Almirante Padilla, el Palacio de Justicia y el SENA. La alta actividad hace se constituya en uno de los corredores más importantes de la ciudad de Riohacha.

Las principales intersecciones sobre corredor carrera 15 que afectan directamente el proyecto son las localizadas en las calles 7, 8, 9, 10, 11, 11^a, 12, 12^a, 13, 14, 14^a, 14^b, 14^c, 14^d, 15, 16, 18, 19, 20, 21,25, 27 y 28^a. El anexo No I describe algunas características de estas vías:



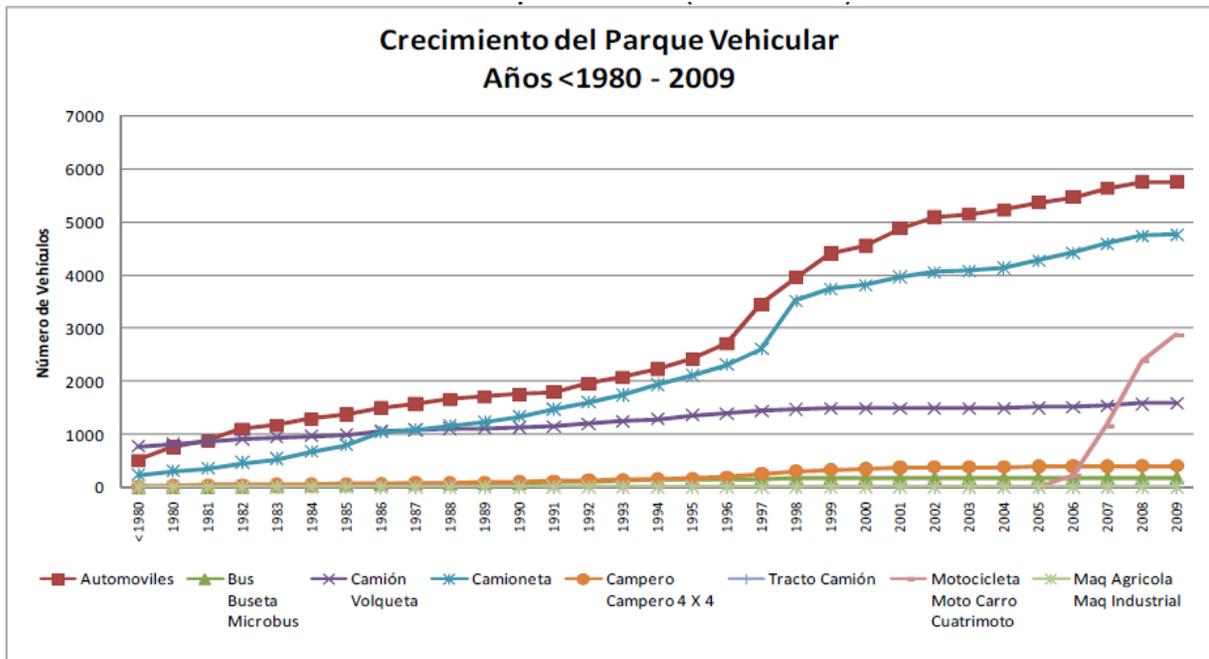
EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Las intersecciones semaforizadas que se encuentran en el corredor de la carrera 15 son las que se encuentran sobre las calles 7, 14 15. El tiempo de ciclo y los repartos para las diferentes horas pico se detallan el Anexo 1.

3.3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TRANSITO Y TRANSPORTE

El corredor Piloto se encuentra ubicado en la ciudad d Riohacha, Capital del departamento de La Guajira, cuenta con una población en casco urbano de 250.236 para el año 2014 (DANE, 2005), de los cuales el 81,28% (203.391) corresponde a la zona urbana. En lo correspondiente al crecimiento vehicular de en la Figura 3-2se observan resultados obtenidos en el estudio de movilidad de Riohacha (Logitrans, 2010), hasta el año 2009.

Figura 3-2 Crecimiento vehicular < 1980 - 2009



(Logitrans, 2010)

Del estudio ante referido tomando tasa de crecimiento optimista se hace la proyección hasta el años 2014, con automóvil 6,5%, Buses 3,75%, Camiones 1,75 y motos 7,5% nos arroja los resultados mostrados en la Tabla 3-2



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Tabla 3-2 proyección vehicular 2010-2014

Año	Auto	Bus Busetas Microbús	Camión Volqueta	Camioneta	Campero 4*4	Tractor camión	Motocicleta Motocarro Cuatrimoto	Maq. Agrícola Mar Industrial	total Vehículo	Tasa anual de crecimiento
2010	6147	188	1616	5091	427	18	3101	12	16.600	6%
2011	6547	194	1643	5422	455	18	3334	12	17.625	6%
2012	6972	201	1671	5774	484	18	3584	12	18.717	6%
2013	7425	208	1700	6149	516	18	3853	12	19.882	6%
2014	7908	215	1729	6549	549	18	4142	12	21.123	6%

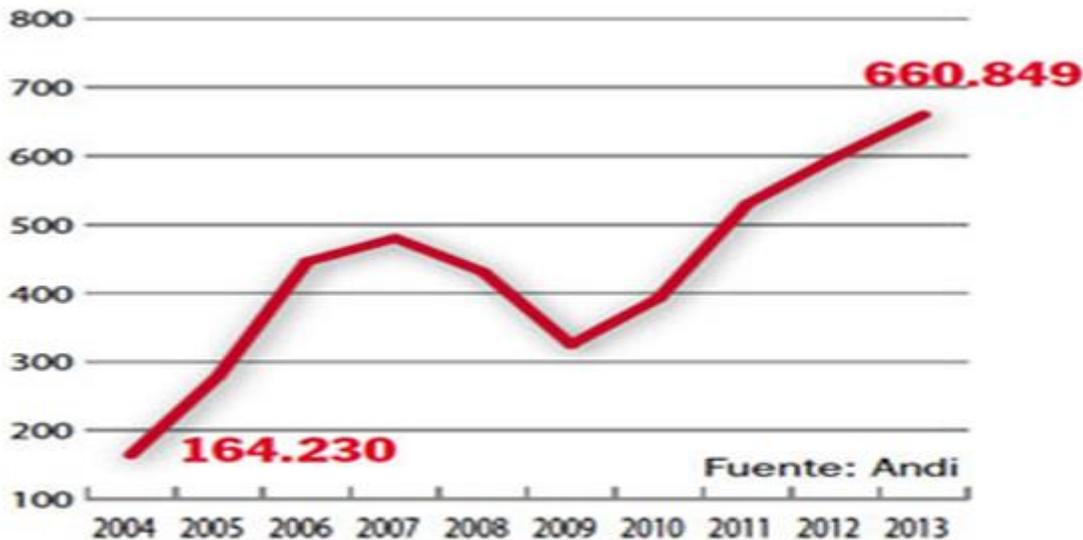
Fuente: Elaboración propia

Como dato relevante se observa el inicio de la tasa de crecimiento de la motocicleta desde el año 2006, de acuerdo con la proyección se cuenta con un estimado de moto de 4142 unidades para el año 2014, pero en investigaciones realizadas al interior del instituto de tránsito municipal, solo hay 1934 motocicletas matriculas en Riohacha, evidenciando que la administración municipal no ha realizado ningún estudio para definir el número de motocicletas que circulan en la ciudad. Es relevante traer resultados de crecimiento de la motocicleta de la investigación realizada por la ANDI año 2013, en la Figura 3-3 se puede observar un crecimiento anual del 300% en los últimos 9 años, entre los años 2006 al 2009 el crecimiento anual de moto es del orden de 55.180 moto anual, estando esto cuantificado en una tasa del 100% anual, situación está muy similar a la que ocurre en esta ciudad.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Figura 3-3 Venta de motos en los últimos 10 años



Fuente: Andi 2013

El municipio de Riohacha cuenta con una entidad encargada del tránsito y transporte creada mediante acuerdo 012 de 2002, resaltando el hecho que no hace labores de control y seguimiento por carecer de agentes de tránsito, tampoco tiene personal en la plata para realizar labores de planeación y recolección de información, todo esto se hace por la modalidad de contratación con terceros.

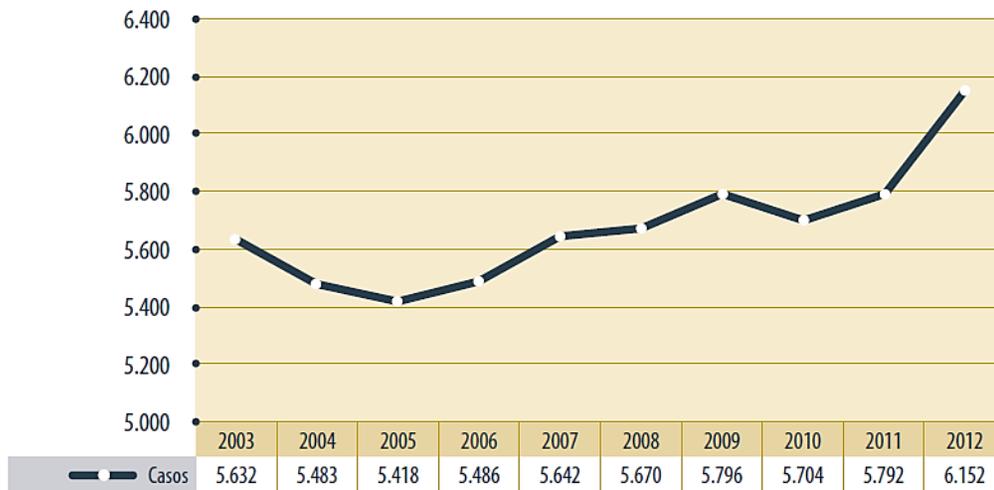
En lo correspondiente a datos de accidentalidad las Figura 3-4 y En la Figura 3-4 se observa que las cifras de muertes por accidentes de transporte en el año 2012 son las más altas de todo el decenio y superan en 9,39 % el promedio de los nueve años anteriores, que fue de 5.625

Figura 3-5, muestran estadísticas del Mortalidad y Lesionados entre los años 2003 y 2013 (Forenses, 2012), resaltando que para el año 2012 en el país se registraron 6152 muertes derivadas accidentes de tránsito, en las cuales el 41.92% de las muertes y el 46.55% de lesionados tuvo incidencia la participación de motocicletas o motocarros.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

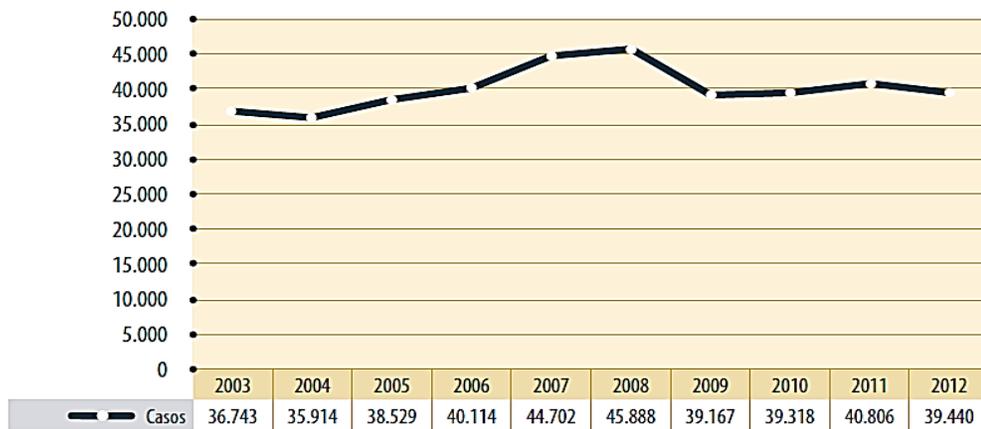
Figura 3-4 Muertes por accidentes de transporte, Colombia, 2003-2012



Fuente: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses / Grupo Centro de Referencia Nacional sobre Violencia / Sistema de Información Red de Desaparecidos y Cadáveres / Sistema de Información Nacional de Estadísticas Indirectas

En la **Figura 3-4** se observa que las cifras de muertes por accidentes de transporte en el año 2012 son las más altas de todo el decenio y superan en 9,39 % el promedio de los nueve años anteriores, que fue de 5.625

Figura 3-5 Lesionados por accidentes de transporte, Colombia, 2003-2012



Fuente: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses / Grupo Centro de Referencia Nacional sobre Violencia / Sistema de Información para el Análisis de la Violencia y la Accidentalidad en Colombia / Sistema de Información Nacional de Estadísticas Indirectas

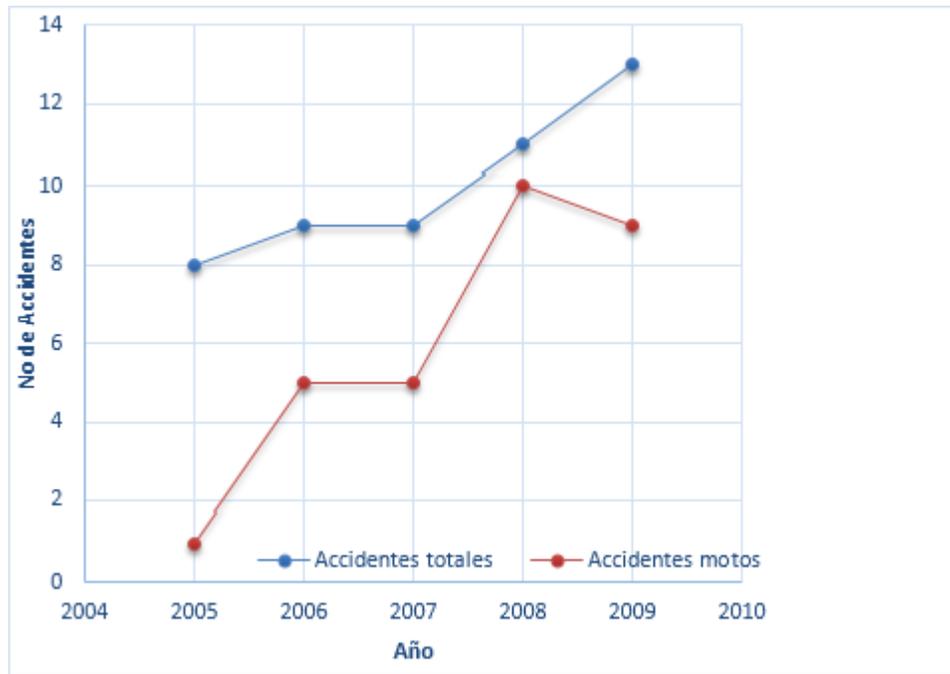
En la **Figura 3-5** caso contrario a lo que viene ocurriendo con la mortalidad se observa que hubo un leve descenso en el año 2012 con respecto al año anterior, pero se resalta que el 6.55% de lesionados tuvo incidencia la participación de motocicleta o motocarro.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Para el caso específico del municipio de Riohacha solo se encontraron algunos datos correspondientes a los años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009, de los cuales se puede observar en la Figura 3-6.

Figura 3-6 Muertes por accidentes en Riohacha



En la Figura 3-6 se observa como en la cabecera municipal de Riohacha, tiene tendencia creciente los accidentes con resultados de Muertes donde participa una motocicleta, estos valores se pueden analizar de manera integral con los mostrados en la Figura 3-2, donde se evidencia el inicio acelerado del crecimiento de motocicletas desde el año 2006.

En lo que tiene que ver con el corredor vial estudiado es un eje en la ciudad en sentido norte a sur, uniendo el único terminal de transporte aéreo de la ciudad con el centro histórico, nuevo centro y zona turística, en el cual también se encuentran zonas educativas y de servicios (salud, institucional, etc).

A lo largo de la calle 15 o Avenida El Progreso, se presenta un tránsito permanente de vehículos de carga pesada en ambos sentidos, que se movilizan entre Venezuela, Maicao y los mercados de Santa Marta, Barranquilla y Cartagena. Este alto volumen de tránsito



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

genera permanentes conflictos vehiculares en el área urbana de Riohacha, principalmente en las intersecciones con la carrera 15.

La Avenida Circunvalación en razón de su diseño, solo puede ser accedida en sus intersecciones con la Avenida Primera, con la Calle 7 llamada Calle Ancha y con la Troncal del Caribe salida a Maicao; lo que la hace ineficaz e ineficiente en su función de descongestionar el tránsito urbano y con poca contribución a la descongestión vehicular del Centro.

Los sectores ubicados hacia la periferia, al occidente, noroccidente, suroccidente y sur del casco urbano de Riohacha, presentan recientes desarrollos urbanos que han extendido la mancha urbana con precarias condiciones de accesibilidad; por lo que su integración física al resto de la ciudad es difícil y casi inexistente. El tránsito hacia y desde estos desarrollos solo puede realizarse buscando salidas hacia la carrera 15, hacia la vía a Valledupar o hacia la Avenida El Progreso, por la ausencia de ejes viales transversales o concéntricos.

El servicio público de transporte urbano en Riohacha, era prestado de manera muy deficiente o casi nula por dos empresas transportadoras, SOTRANUCHA y TRANSAVA, pero con la llegada del servicio de moto se extinguieron las busetas prestadoras de este servicio.

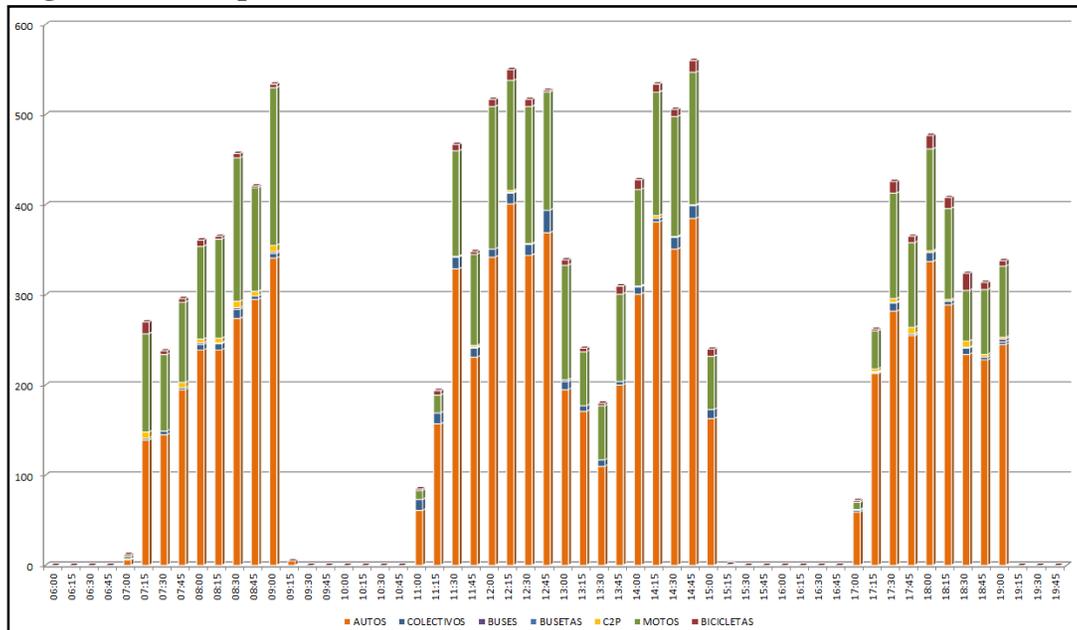
Otro de los análisis realizados para construir la red de Riohacha, estuvo relacionado con el trazado y cobertura del actualmente inexistente transporte público colectivo, que según el POT recorría las vías arteriales, semiarteriales y colectoras, como también las calles 7, 12, 13 y 14B principalmente.

Vale la pena resaltar que sobre el corredor estudiado no circulan vehículos de servicio público formales. Actualmente el servicio público de pasajero en la ciudad es atendido por taxis colectivos y mototaxis, servicios informales no regulados. En la Figura 3-7 se muestra la propuesta de rutas para el Sistema Estratégico de Transporte Público de Riohacha (Proyectos Técnicos, 2014) y la proyección de las rutas para servicios públicos urbanos.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Figura 3-8. Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 7



Fuente: Elaboración propia

La hora pico de la mañana va desde las 08:00 hasta las 09:00, en el medio día desde 12:00 hasta las 13:00 y en la tarde desde las 17:30 hasta las 18:30.

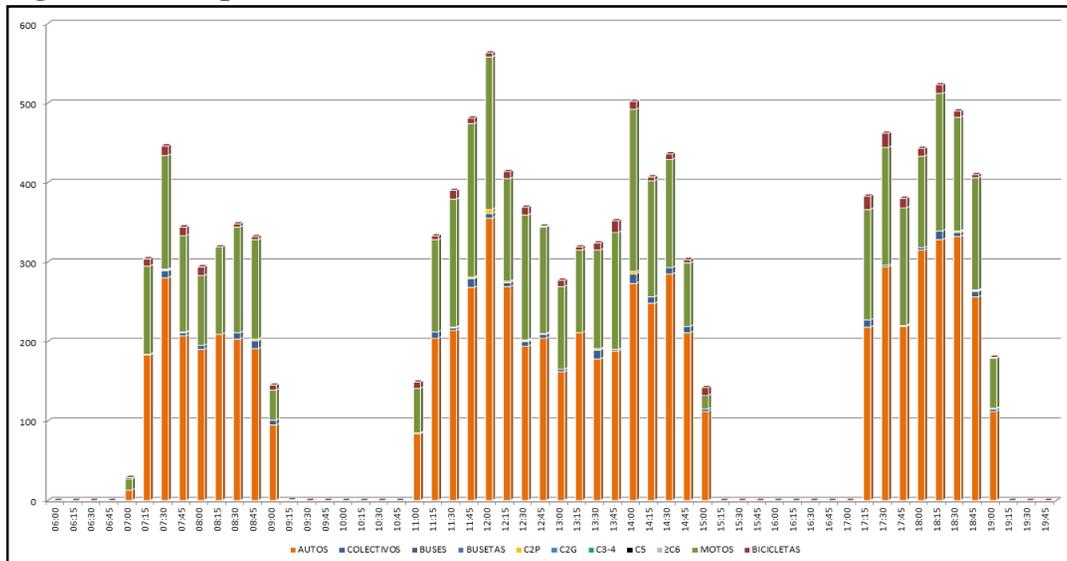
3.4.2 Estación 2 intersección de la carrera 15 con la calle 10

En la Figura 3-9, se muestra el tránsito vehicular para la estación 2; en ella se observa que la hora pico de la mañana va desde las 07:30 hasta las 08:30, al medio día desde las 11:30 hasta las 12:30 y en la tarde desde las 18:00 hasta las 19:00.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Figura 3-9 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 10

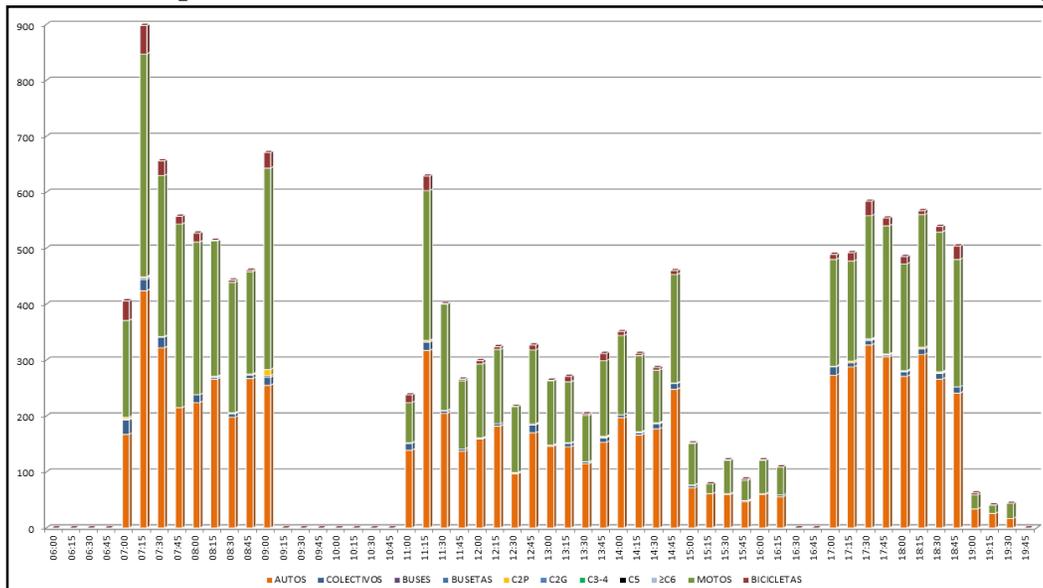


Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Estación 3 intersección de la carrera 15 con la calle 11 y 11^a

En la Figura 3-10 se muestra el tránsito vehicular para la estación 3. La hora pico de la mañana va desde las 07:15 hasta las 08:15, al medio día desde las 11:15 hasta las 12:15 y en la tarde desde las 17:30 hasta las 18:30.

Figura 3-10 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 11 y 11a



Fuente: Elaboración propia

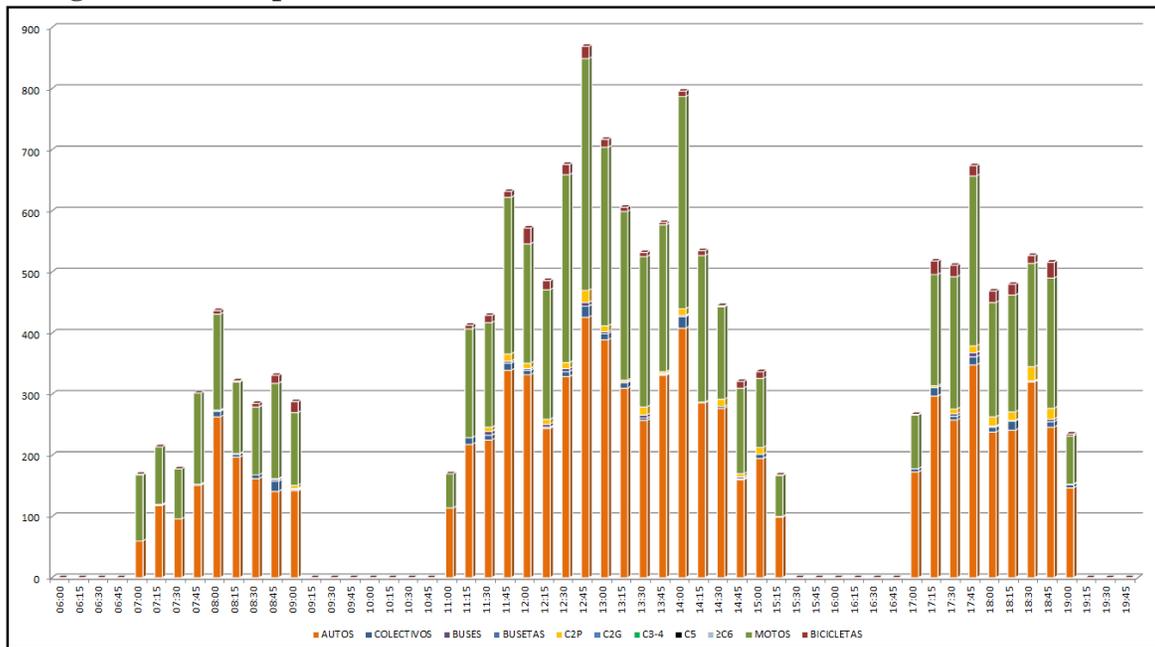


EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

3.4.4 Estación 4 intersección de la carrera 15 con la calle 12

En la Figura 3-11 se muestra el tránsito vehicular para la estación 4, en ella se observa que la hora pico de la mañana va desde las 08:00 hasta las 09:00, al medio día desde las 12:30 hasta las 13:30 y en la tarde desde las 17:45 hasta las 18:45.

Figura 3-11 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 12



Fuente: Elaboración propia

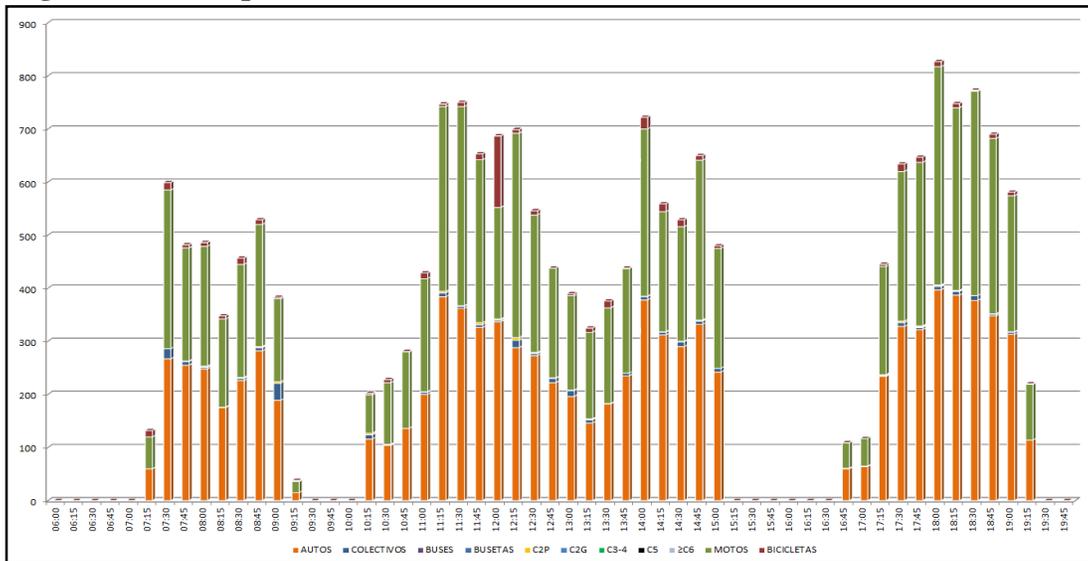
3.4.5 Estación 5 intersección de la carrera 15 con la calle 13

En la Figura 3-12 se muestra el tránsito vehicular para la estación 5. La hora pico de la mañana va desde las 07:30 hasta las 08:30, al medio día desde las 11:15 hasta las 12:15 y en la tarde desde las 17:45 hasta las 18:45.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Figura 3-12 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 13

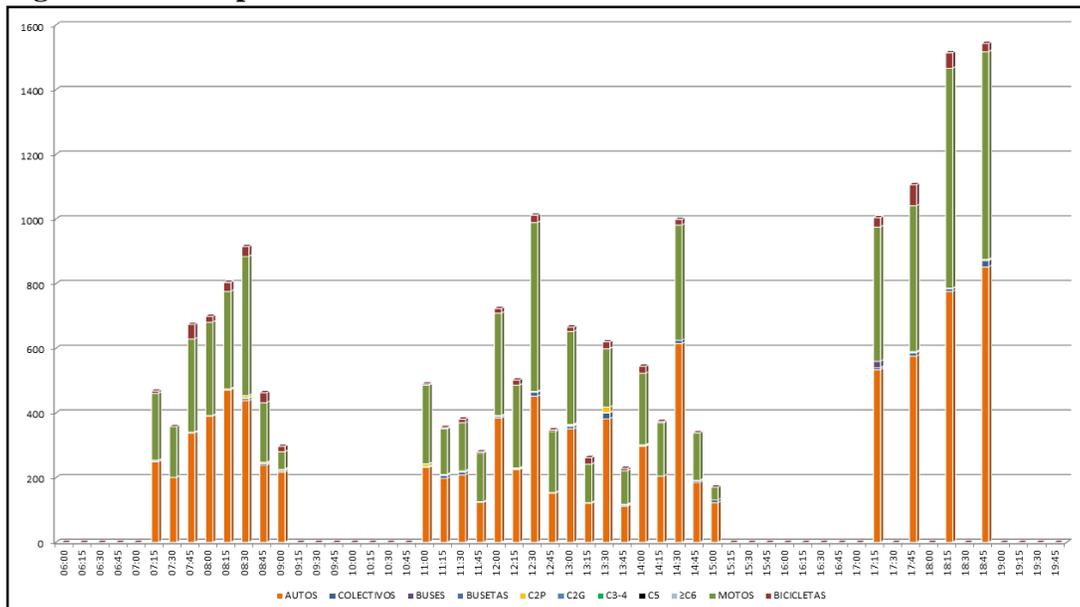


Fuente: Elaboración propia

3.4.6 Estación 6 intersección de la carrera 15 con la calle 14

En la Figura 3-13 se muestra el tránsito vehicular para la estación 6, en ella se observa que la hora pico de la mañana va desde las 07:45 hasta las 08:45, al medio día desde las 12:00 hasta las 13:00 y en la tarde desde las 18:00 hasta las 19:00.

Figura 3-13 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 14



Fuente: Elaboración propia

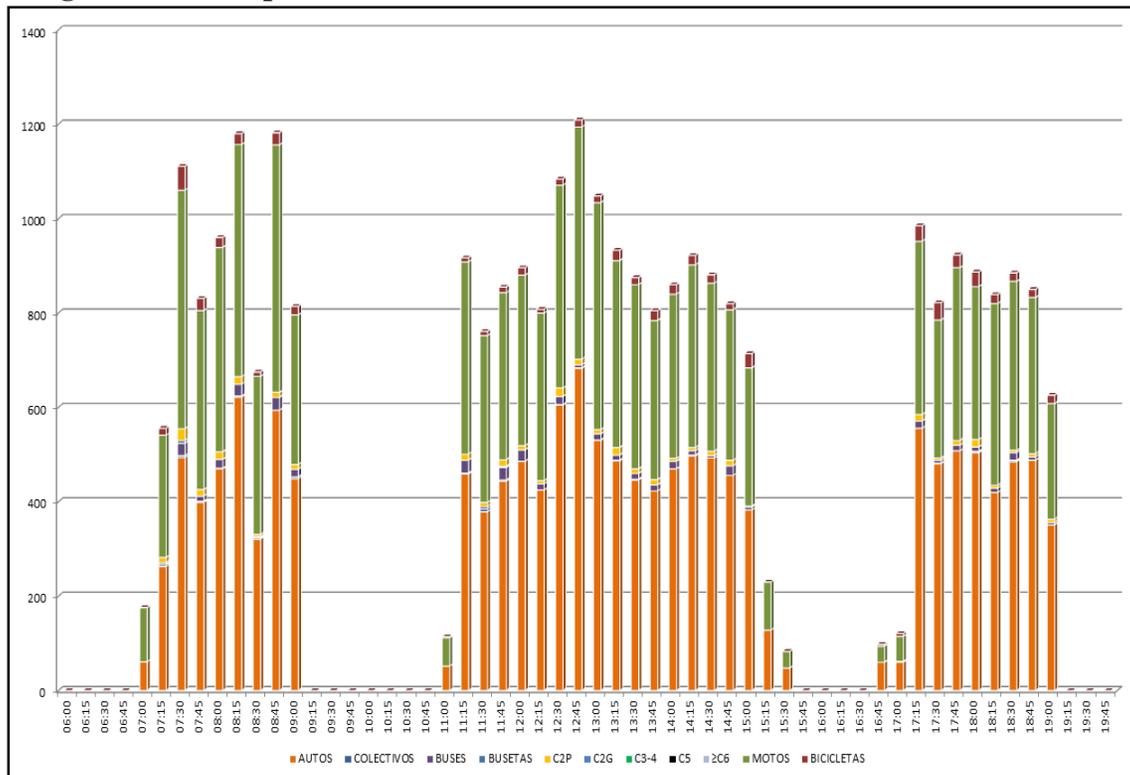


EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

3.4.7 Estación 7 intersección de la carrera 15 con la calle 15

En la Figura 3-14 se muestra el tránsito vehicular para la estación 7, en ella se observa que la hora pico de la mañana va desde las 07:30 hasta las 08:30, al medio día desde las 12:30 hasta las 13:30 y en la tarde desde las 17:15 hasta las 18:15.

Figura 3-14 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 15



Fuente: Elaboración propia

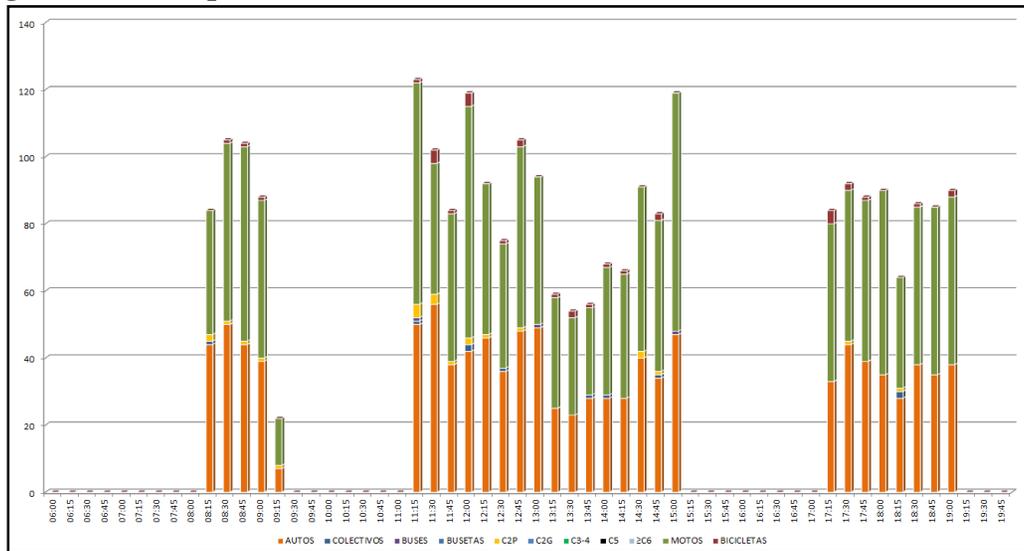
3.4.8 Estación 8 intersección de la carrera 15 con la calle 20

En la Figura 3-15; **Error! Argumento de modificador desconocido.** se aprecian las variaciones horarias del tránsito vehicular para la estación 8, donde la hora pico de la mañana va desde las 08:15 hasta las 09:15, al medio día desde las 11:15 hasta las 12:15 y en la tarde desde las 17:15 hasta las 18:15. Una de las características relevantes en este análisis son los altos volúmenes de motocicletas en las intersecciones.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Figura 3-15 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 20

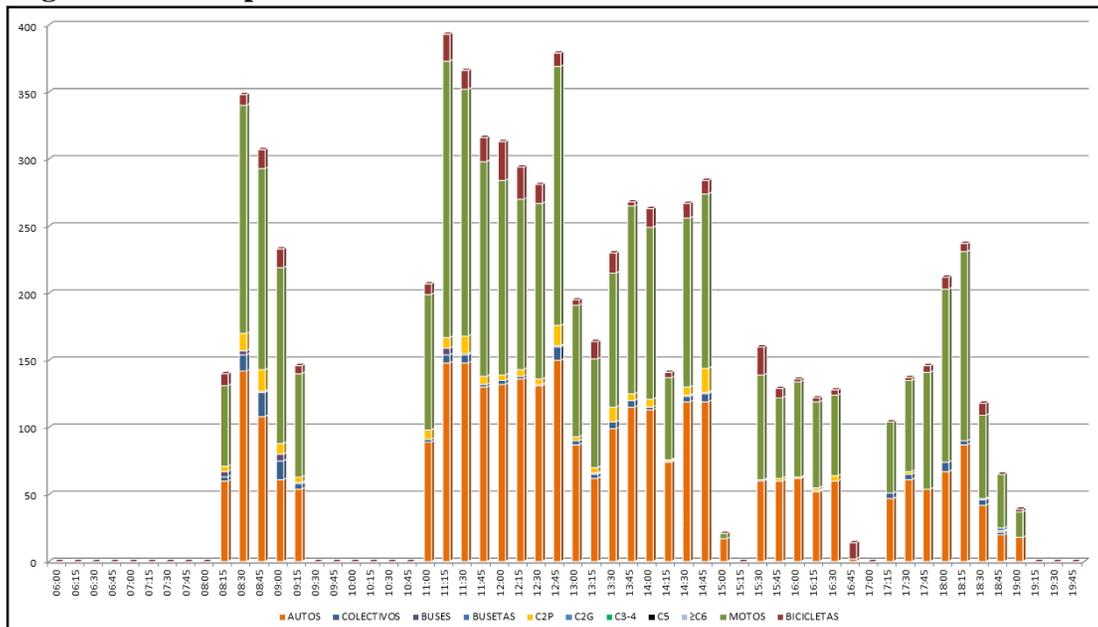


Fuente: Elaboración propia

3.4.9 Estación 9 intersección de la carrera 15 con la calle 21

En la Figura 3-16 se muestra el tránsito vehicular para la estación 9, en ella se observa que la hora pico de la mañana va desde las 08:30 hasta las 09:30, al medio día desde las 11:15 hasta las 12:15 y en la tarde desde las 17:30 hasta las 18:30.

Figura 3-16 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 21



Fuente: Elaboración propia

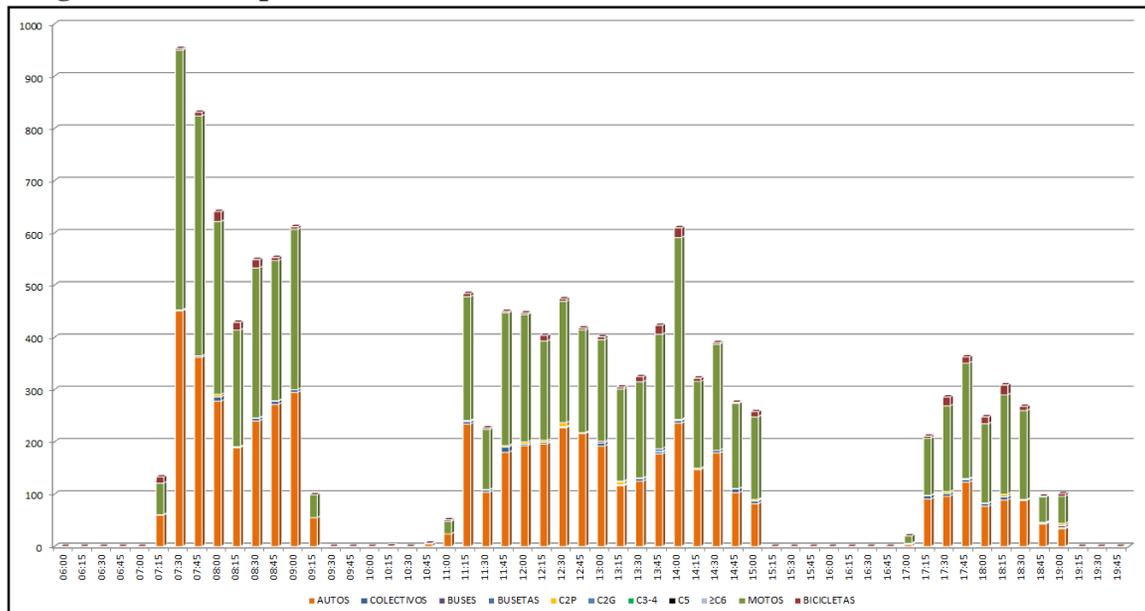


EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

3.4.10 Estación 10 intersección de la carrera 15 con la calle 28ª

En la Figura 3-17 se muestra el tránsito vehicular para la estación 2. La hora pico de la mañana va desde las 07:30 hasta las 08:30, al medio día desde las 12:00 hasta las 13:00 y en la tarde desde las 17:30 hasta las 18:30.

Figura 3-17 Comportamiento del tránsito vehicular en la carrera 15 con calle 28a



Fuente: Elaboración propia

3.5 INFORMACIÓN DE CAMPO ESTUDIO DE VELOCIDADES Y COLAS

Sobre las carreras 15 a la altura de la zona del proyecto, durante los mismos períodos pico considerados en los aforos, se hicieron mediciones de velocidad de punto de los vehículos obtenidas por el método de placa discriminando según tipo (Roger p Roess, 2004). La síntesis de los resultados del estudio de velocidad se presenta en la Tabla 3-3, donde se observan las velocidades obtenidas a partir de un tramo de 1,2 km entre las calles 7 y 15. Allí se presentan las estadísticas generales de la velocidad comercial o global en cada una de las calzadas, al igual que la velocidad a flujo libre para diferentes tipologías de vehículos.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Tabla 3-3 Velocidades observadas

Tipo de vehículo	Velocidad media observada(km/h) sentido norte sur	Velocidad media observada (km/h) sentido sur-norte	Velocidad media a flujo libre (km/h)
Autos	25	25	60
Buses	20	20	40
Camiones	20	20	40
Motos	30	30	50

Fuente: Elaboración propia

Otros valores de referencia se muestran en las Tabla 3-4 y Tabla 3-5 estos fueron obtenidos en el estudio (Logitrans, 2010), los cuales realizaron con el método de vehículo flotante

Tabla 3-4 Velocidad Corredor Carrera 15 sentido NS

Tramos	Distancia (Mt)	Velocidades de Recorrido (Km/H)				Velocidades De Marcha (Km/H)			
		Am	M	Pm	Promedio Día	Am	M	Pm	Promedio Día
Calle 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Calle 7	190	8	5	9	7	25	20	23	23
Calle 13	500	11	10	14	12	18	23	18	20
Calle 14	190	10	11	7	9	13	10	11	11
Calle 15	510	20	21	24	24	23	24	24	22
Aeropuerto	1060	31	29	31	30	29	36	31	32
Promedio Ponderado					16				22

Fuente (Logitrans, 2010)

De las tablas se promedió la velocidad de marcha en los dos sentido el cual nos da un valor aproximado de 25km/h para autos, valor q se tomó para trabajar en la presente investigación, de igual forma teniendo en cuenta que la clase de vehículo transita hacia el aeropuerto son motos en se establece que el valor de velocidad es del orden de 30Km/h.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Tabla 3-5 Velocidad Corredor Carrera 15 sentido SN

Tramos	DISTANCIA (Mt)	Velocidades de Recorrido (KM/H)				Velocidades de Marcha (KM/H)			
		Am	M	Pm	Promedio Día	Am	M	Pm	Promedio Día
Aeropuerto	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Calle 15	1060	24	24	22	23	31	30	33	31
Calle 14	510	18	17	23	19	32	25	27	28
Calle 13	190	10	15	12	14	16	15	12	12
Calle 7	500	16	16	16	16	22	22	25	23
Calle 1	190	33	42	38	38	42	40	38	40
Promedio Ponderado					22				27

Fuente (Logitrans, 2010)

Del mismo modo que se hizo para las velocidades, se registraron las colas en las intersecciones durante los mismos periodos picos calculados en los aforos. Las colas fueron tomadas en la intersección Avenida Estudiantes con calle 7, calle 14 y calle 15, obteniendo los valores registrados en la Tabla 3-6

Tabla 3-6 Longitud media de cola observada

Estación	Longitud media de cola observada (m)	Observación
1	155	Sentido este oeste
5	85	Sentido oeste este
6	550	Sentido oeste este

Fuente: Elaboración propia

Los datos de colas y velocidades fueron la base para establecer los parámetros introducidos en el modelo simulado, lo que nos permitió al final ajustarlos.

3.6 ANALISIS DE RESULTADOS DE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO EN EL CORREDOR (SITUACION ACTUAL)

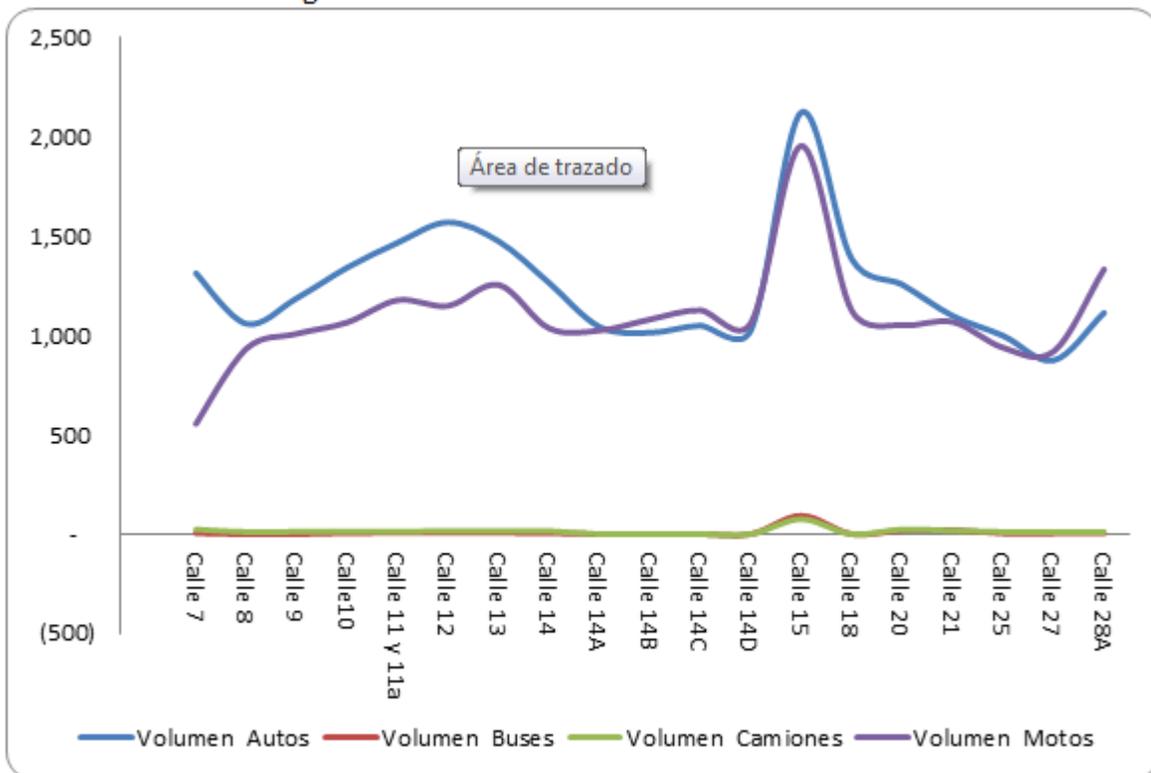
En las condiciones de tránsito del corredor, se determinó para cada una de las intersecciones, los periodos de máxima demanda, así como los máximos volúmenes. La distribución vehicular se identifica como autos, buses, camiones, motocicletas y bicicletas.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

De la Figura 3-18, se puede observar que en su mayor parte, el corredor es usado por dos tipos de vehículos: automóviles y motocicletas; solo en la intersección del corredor con la calle 15 se observa un pico importante en volúmenes de buses y camiones, esto debido a que la avenida 15 es el paso urbano de la carretera Transversal del Caribe ruta 9009 Carretera Palomino - Riohacha y ruta 9010 carretera Riohacha Maicao.

Figura 3-18 Volúmenes avenida los estudiantes



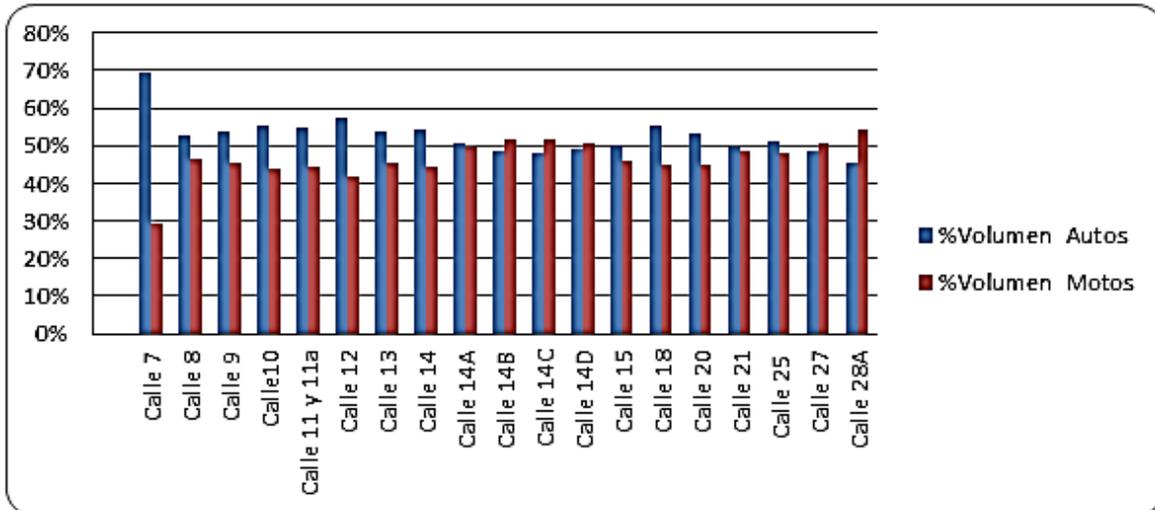
Fuente: Elaboración propia

La Figura 3-19 establece una comparación de los volúmenes de autos y motocicletas para cada intersección. Es evidente que en algunas intersecciones el volumen de motocicletas es más importante que el de autos, exacerbando la heterogeneidad del flujo vehicular, en atención a que las características del vehículo y el comportamiento de los conductores son distintos.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Figura 3-19 volúmenes Autos vs Motos



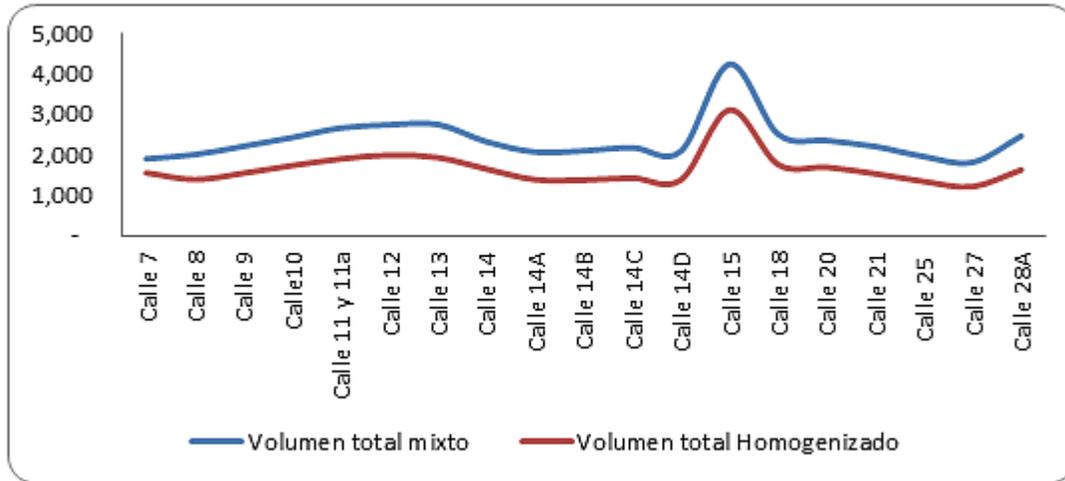
Fuente: Elaboración propia

La Figura 3-20, muestra los volúmenes del corredor Avenida los Estudiantes sin proyecto (situación actual), volumen mixto (heterogéneo) y homogenizado con equivalencias. Puede notarse el hecho que la heterogeneidad del corredor está influenciada directamente en su comportamiento por dos tipos de vehículos (autos y motocicletas), sin desconocer los volúmenes de buses y camiones, y dado que la equivalencia de las motocicletas es cerca de un tercio de los autos, la curva de vehículos equivalentes se encuentra por debajo de la de vehículos mixtos, siguiendo esencialmente la misma tendencia.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Figura 3-20 Volúmenes heterogéneo y homogenizado



Fuente: Elaboración propia

3.6.1 Condiciones de los dispositivos de control

Las condiciones de los dispositivos de control de la red se refiere a la información que se recopiló en el inventario de señales; así como la información sobre el diagrama de fases que ilustra el plan de fases; la longitud de ciclo, los tiempos de verde, tiempos de rojo y los tiempos intermedios (entre verdes) para las intersecciones semaforizadas y la existencia o no de señales de PARE y ceda el paso. La información respectiva está consignada en el Anexo I.



4 DESARROLLO DE LOS MODELOS DE EVALUACIÓN

La propuesta de investigación está enmarcada dentro del ámbito del análisis de tránsito, mediante el uso de la simulación, limitando su aplicación en vías con geometría uniforme y bajo la condición de tránsito heterogéneo. Particularmente, se evalúa el impacto de la motocicleta en el flujo, lo que hace este capítulo más relevante para las conclusiones de la investigación.

El capítulo se desarrolla inicialmente con la construcción del modelo, su calibración y validación; posteriormente se modelan y analizan los escenarios propuestos. Para la presente investigación los escenarios representan diferentes características y condiciones a evaluar en el corredor seleccionado. En primera instancia se evalúan cuatro situaciones de tránsito de todo el corredor, iniciando por la situación actual y terminando con una propuesta para mejorar las condiciones de flujo. Seguidamente, con el fin de evaluar el impacto en los indicadores de tráfico como consecuencia del crecimiento del parque automotor (autos – motos) se evalúan nuevos escenarios nombrados sensibilizando el crecimiento y la composición. Finalmente, se generan escenarios en los que se evalúa el ancho óptimo de carril para una vía exclusiva para motocicleta.

4.1 EVALUACIÓN CORREDOR AVENIDA LOS ESTUDIANTES

En esta sección se ha propuesto evaluar el corredor en el tramo comprendido entre la calle 7 y la calle 28, considerando cuatro escenarios de comportamiento de flujo vehicular, que se describen en la Tabla 4-1

Tabla 4-1 Escenarios modelado

Escenarios	1	2	3	4
Descripción	Situación Actual Tránsito Heterogéneo	Situación Actual Tránsito Homogenización de tránsito	Situación Actual heterogéneo Excluyendo el flujo motocicletas en el corredor	Situación Actual trafico heterogéneo Excluyendo el flujo motocicletas en el corredor, con señales de tránsito optimizados



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Escenarios	1	2	3	4
Objetivo	Evaluar y analizar adecuadamente la situación real del corredor y evidenciar los problemas de tránsito que presenta la red actualmente	Evaluar y analizar la situación actual con los datos tomados en campo sin hacer ninguna restricción, homogenizando todo el tránsito, con tasa de equivalencias conocidas ampliamente en la literatura.	Evaluar el comportamiento del tráfico con la medida de restricción de motocicletas por el corredor	Evaluar el comportamiento del tráfico con la medida de restricción de motocicletas por el corredor, optimizando las señales de tránsito de del corredor

4.1.1 Construcción del modelo

El modelo debe representar las características físicas y operacionales de la red a estudiar. Las primeras corresponden a las condiciones geométricas de la red vial obtenidas en la etapa de recolección de información (longitudes de tramos, ancho de calzada, división de carriles, anchos de andenes etc.), construyendo los nodos y arcos de la red. Los arcos representan los tramos viales y los nodos las intersecciones, los cuales se describen en la Tabla 4-2, esta etapa concluye cuando se tiene caracterizada geométricamente la red.

Tabla 4-2 Intersecciones incluidas en el modelo

ESTACIÓN	INTERSECCIÓN	TIPO
01	CALLE 7	SEMÁFORO
02	CALLE 10	PARE
03	CALLE 11	PARE
04	CALLE 12	PARE
05	CALLE 14	SEMÁFORO
06	CALLE 15	SEMÁFORO
07	CALLE 20	PARE
08	CALLE 21	PARE
09	CALLE 28 ^a	PARE

Fuente: Elaboración propia



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

En un segundo paso, al modelo inicial se le adicionan los atributos operacionales de los datos obtenidos en la fase de recolección de datos (ver anexo No II), destacando entre ellos las características particulares de los vehículos Figura 4-1 (dimensiones geométricas, velocidad, aceleración), distribución de velocidad deseada, composición vehicular del flujo, flujo vehicular, parámetro de comportamiento de conducción modelo de seguimiento vehicular Widemann 74 Figura 4-2; seguidamente se definen rutas del tránsito y se incluyen las señales de tránsito semaforzadas con sus respectivas fases de funcionamiento, por últimos se definen los parámetros de simulación .

Figura 4-1 Creación Tipo de Vehículo

Parámetro	Car (No. 100)	Moto (No. 800)
No.	100	800
Nom.	Car	Moto
Categoría	Auto	Bicicleta
Modelo de vehículo	10 Car	80 Moto
Longitud (de a)	4.11 a 4.76 m	1.80 a 2.00 m
Ancho	1.50 m	0.90 m
Ocupación	1.00	1.00
Color	1 Default	2 Azul



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Figura 4-2 parámetro de comportamiento de conducción

Parámetros de comportamiento de conducción

No.: 1 Nom.: Urban (motorized)

Seguimiento Cambio de carril Lateral Regulador semafórico

Comportamiento general: Libre selección de carril

Cambio de carril necesario (ruta)	Propio	Vehículo sig.
Desaceleración máxima:	-4,00 m/s ²	-3,00 m/s ²
- 1 m/s ² por distancia:	100,00 m	100,00 m
Desaceleración aceptada:	-1,00 m/s ²	-1,00 m/s ²

Tiempo de espera antes de eliminación: 360,00 s
Intervalo mín. (delantero/trasero): 0,50 m
Hacia carril lento sobre el tiempo de colisión: 0,00 s
Factor de reducción de distancia de seguridad: 0,60
Desaceleración máxima al frenar por cooperación: -3,00 m/s²
Sobrepasar áreas de reducción de velocidad:

Aceptar Cancelar

Parámetros de comportamiento de conducción

No.: 1 Nom.: Urban (motorized)

Seguimiento Cambio de carril Lateral Regulador semafórico

Distancia visual hacia delante
mín.: 0,00 m
máx.: 400,00 m
 5 Vehículos observados

Distancia visual hacia atrás
mín.: 0,00 m
máx.: 300,00 m

Perdida de atención temporal
Duración: 0,00 s
Probabilidad: 0,00 %

Modelo de seguimiento de vehículo
Wiedemann 74

Parámetros del modelo
Separación media en detención:
Parte adic. de dist. de seguridad:
Parte multipl. de dist. de seguridad:

Aceptar Cancelar



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Parámetros de comportamiento de conducción

No.: 1 Nom.: Urban (motorized)

Seguimiento Cambio de carril **Lateral** Regulador semafórico

Posición deseada a flujo libre: Cualquiera

Observar vehículos en carriles aledaños
 Cola en forma de diamante
 Considerar próxima dirección de giro

Sobrepasar en un mis		Distancia lateral mín.		
Clase de vehículo a ser sobrepasado		Clase de vehículo	Distancia [m] a 0 km/h	Distancia [m] a 50 km/h
<input checked="" type="checkbox"/> All		<input checked="" type="checkbox"/> Default	1,00	1,00
<input type="checkbox"/> Bike		<input type="checkbox"/> Bike	0,10	0,30
<input type="checkbox"/> Moto		<input type="checkbox"/> Moto	0,30	0,50

Aceptar Cancelar

Parámetros de comportamiento de conducción

No.: 1 Nom.: Urban (motorized)

Seguimiento Cambio de carril Lateral **Regulador semafórico**

Reacción a señal amarilla

Modelo de decisión: Verificación continua

Factores de probabilidad: Alfa: 1,59
Beta 1: -0,26
Beta 2: 0,27

Comportamiento en señal roja/amarilla: Ir (igual que verde)

Distancia de seguridad reducida cerca a la línea de pare

Factor de reducción: 0,60

Iniciar aguas arriba de la línea de pare: 100,00 m
Terminar aguas abajo de la línea de pare: 100,00 m

Aceptar Cancelar



Figura 4-3 Parámetros de Simulación

Parámetros de simulación

Comentario:

Regulación tráfico: Conduc. por der.
 Conduc. por izq.

Periodo de simulación: Segundos de sim.

Hora de inicio: [hh:mm:ss]

Fecha de inicio: [YYYYMMDD]

Resolución de simul.: Tiempo (s) / Seg. sim.

Semilla aleatoriedad:

Velocidad de simulación: 1000.0 Seg. sim. / s
 máximo

Interrumpir en: Segundos de sim.

Número de núcleos:

Aceptar Cancelar

4.1.2 Calibración y validación del modelo

La calibración del modelo es un proceso iterativo de comparar los resultados del modelo con la realidad, haciendo ajustes adicionales, comparando de nuevo y así sucesivamente hasta llegar al punto de calibración. La comparación del modelo con la realidad se lleva a cabo por medio de pruebas, que requieren datos sobre el comportamiento del sistema además de los datos correspondientes producidos por el modelo. Los datos necesarios de entrada para el modelo del flujo del tránsito heterogéneo están relacionado con cuatro aspectos: geometría de la carretera, las características del tránsito, el tiempo de reacción del conductor y el rendimiento del vehículo.

El poder de la simulación como una herramienta para el estudio del flujo de tránsito se encuentra en la capacidad del modelo para incluir el efecto de la naturaleza aleatoria de tránsito. Por lo tanto, las variables aleatorias asociadas con el flujo de tránsito como la distribución de entradas, se expresan como distribuciones de frecuencia y de entrada en el



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

modelo de simulación (Manraj Singh Bainsa, 2012). Estos datos, pertenecientes a una dirección del flujo de tránsito, se recogieron en el tramo seleccionado para el estudio con fines de calibración y validación.

Para los modelos evaluados en el presente capítulo se calibró el modelo del escenario No 1, ajustando las variables de entradas distribución de velocidad deseada, aceleración y desaceleración, características mecánicas del vehículo, mínima distancia de seguridad, mínima distancia lateral y características del comportamiento del conductor. Una vez corrido el modelo se seleccionaron como variables de salida, para verificar la calibración, los indicadores longitud de cola de las intersecciones semaforizadas y velocidades en los arcos. Este proceso se realizó para diez (10) diferentes valores aleatorios de entrada.

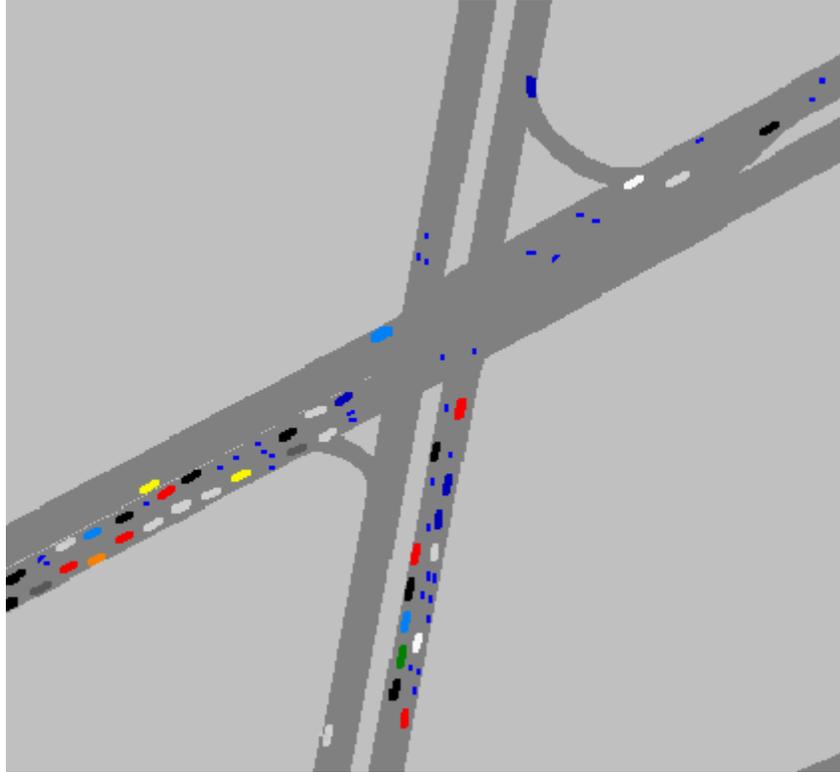
Los modelos se corrieron para un tiempo de 3600 segundos incluyendo el tiempo de calentamiento. Para tener en cuenta la heterogeneidad del tránsito, en los parámetros de comportamiento del conductor no hubo estricta disciplina de carril entre los vehículos, por lo que en la simulación cada vehículo es libre de elegir cualquier posición lateral y adelantar en cualquier lugar sin ninguna disciplina, como sucede en la realidad en el corredor estudiado. La distancia visual hacia delante que define la distancia en que un vehículo puede ver hacia adelante con el fin de reaccionar a los vehículos delante o hacia un lado, la distancia visual hacia atrás y otros valores fueron elegidos atendiendo los valores recomendados por VISSIM, notando si se lograba reproducir las condiciones observadas. Los valores obtenidos y los observados fueron comparados calculando el error. Si este estaba dentro de los límites, el proceso de calibración se detenía, sino se ajustaban los parámetros y se modelaba nuevamente. Este proceso se repitió hasta el error estuvo dentro de los límites satisfactorios.

Las intersecciones en las que se hizo el control de calibraciones son las representadas en el modelo con las No 1, 5 y 6. La Figura 4-4 muestra el comportamiento del modelo calibrado representado lo que está ocurriendo actualmente en la intersección No 6, indicando las condiciones geométricas, comportamiento del tránsito y condiciones del control.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Figura 4-4 Simulación de la intersección carrera 15 con calle 15



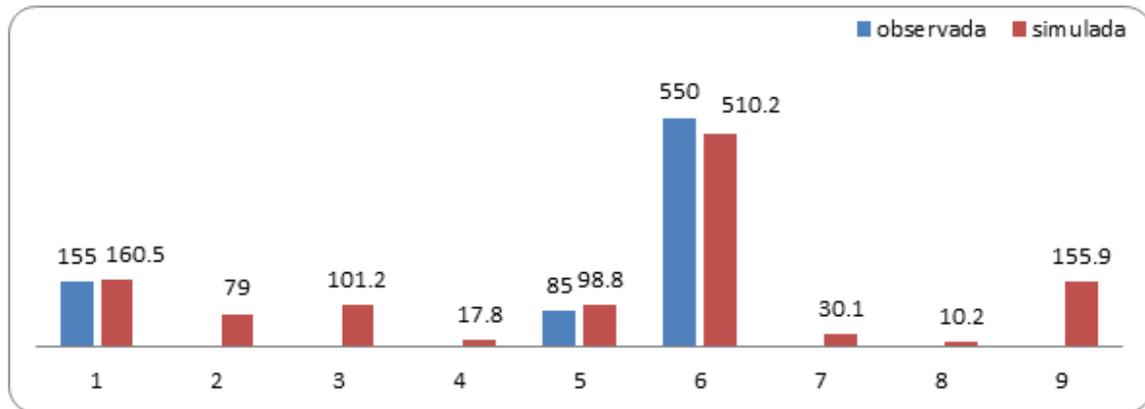
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-5 se puede observar los valores obtenidos mediante el modelo de simulación y los valores observados en las tres intersecciones semaforizada de la red, una vez realizados los respectivos ajustes de calibración. Las diferencias de longitudes de colas observada y modelada fueron del 3,42%, 14% y 7%, valores aceptables que permiten considerar que se ha logrado calibrar el modelo.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

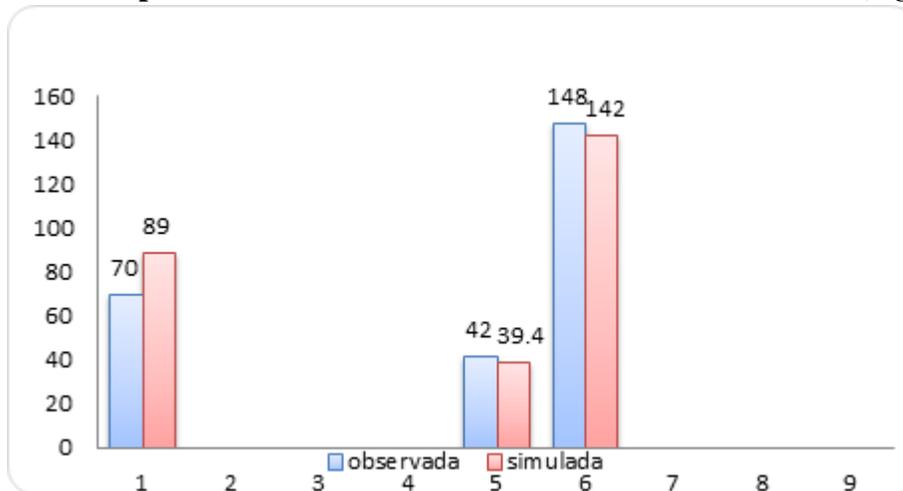
Figura 4-5 Comparación colas observadas simuladas (m)



Fuente: Elaboración propia

Para validar el modelo usamos una segunda prueba de error se muestra en la Figura 4-6. Allí se observan los valores obtenidos de demoras en el modelo de simulación y los observados en las tres intersecciones semaforizadas de la red. Se obtuvieron diferencias de demoras de 16.8%, 6.1% y 4%, límites aceptables para propósitos de calibración.

Figura 4-6 Comparación demoras observadas vs demoras simuladas (segundos)



Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Construcción de modelo para escenario 2

El segundo escenario fue construido bajo las mismas características físicas y operacionales del escenario No 1, con la diferencia que fue modificada la entrada de flujos, los cuales



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

fueron expresados con base en una unidad patrón (vehículos equivalentes), determinando una función que considera la relación de espacio ocupado por una tipología vehicular y el vehículo patrón., con el fin de analizar en efecto de la motocicleta en el flujo heterogéneo, se propuso posteriormente para este mismo escenario variar los factores de equivalencia para moto de acuerdo a estudios realizados en Colombia como valores de equivalencia en tramos para la ciudad de Bogotá, del orden de 0.07 con velocidades de 10km/h en dos carriles y valores de 0.16 en velocidades de 80 km/h en dos carriles (Siachoque, 2014).

Tabla 4-3 Factores de equivalencia

Tipo de vehículos	(Road Research Laboratory., 1965)	(Siachoque, 2014)		Propuesto	(Agudelo Torres, 2006)
Auto	1				
Camión liviano	1,0<C2				
Camión Medio o Pesado	1,75;C2,C3				
Bus	2,25				
Camión Articulado	2,5				
Moto	0,33	0,07	0,16	0,5	0,75
Bicicleta	0,2				

Fuente: Elaboración propia

También se ha usado en Colombia un valor para equivalencia de motocicletas de 0.75 el cual ha sido empleado por la secretaria de la secretaria de tránsito y transporte de la ciudad de Manizales (Agudelo Torres, 2006), como valor intermedio también se evalúa el factor de equivalencia de 0.50. Es de resaltar algunos autores que manifiestan que estos valores para flujos estables deben estar en el orden de 0.29 (Peña & Bocarejo , 2014), En la Tabla 4-3 se muestran los valores de los factores de equivalencia usados en la presente investigación

4.1.4 Construcción de modelo para escenario 3

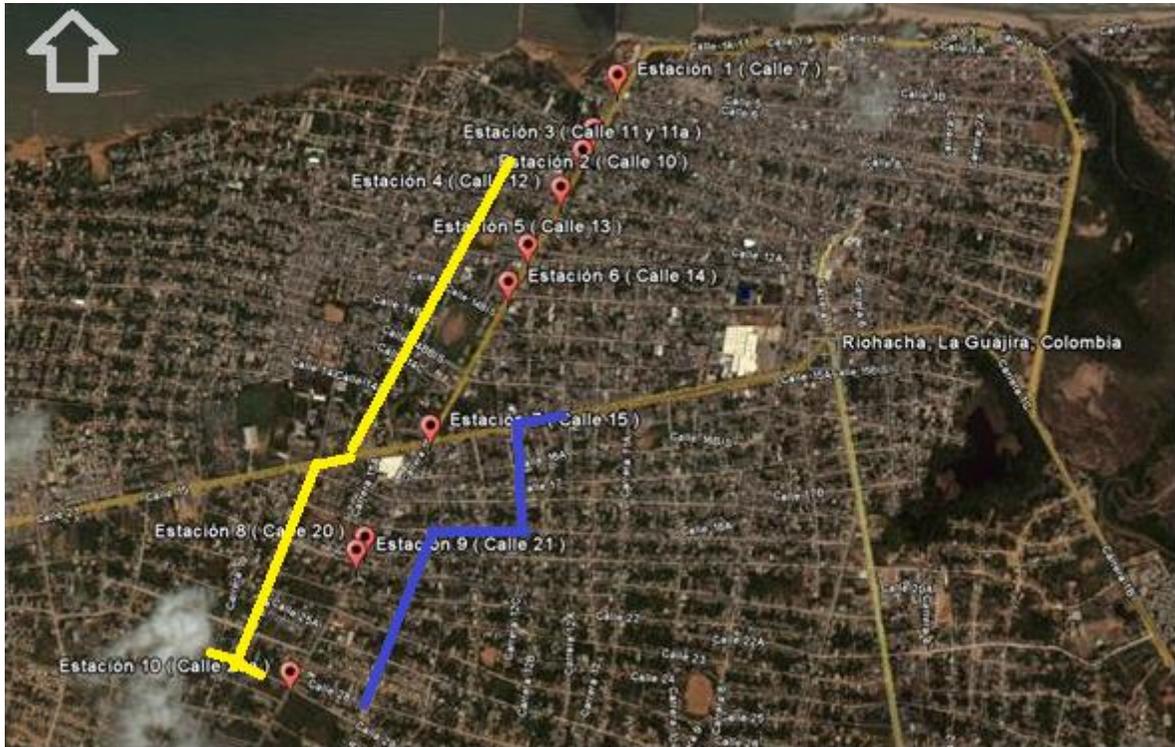
Unas de las prácticas de gestión de tránsito comunes en varias ciudades colombianas es la de restringir el tránsito de motocicletas en algunos corredores viales. El objeto de este escenario consiste evaluar el comportamiento del corredor en el caso que se restrinja el



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

tránsito de motocicletas en el corredor, proponiendo alternativamente una vía exclusiva (motoruta) utilizando vías paralelas. Esta alternativa conlleva a considerar dos corredores adicionales: uno que llevaría el flujo de motocicletas en sentido norte-sur y otro en sentido sur-norte, compartiendo calzada con la circulación de otros tipos de vehículos. El sentido norte-sur sale de la red por la calle 10 (sentido este oeste) hasta interceptar la carrera 16, tomando ésta por la calzada oriental hasta la calle 15, siguiendo por la calle 15 hasta la carrera 18, para luego tomar la carrera 18 desde la calle 15 hasta la calle 28^a donde tiene posibilidades de seguir hacia el sur-occidente o hacia el sur-oriente. Por su parte, en el sentido sur-norte desde la calle 28^a se toma por la carrera 14^a, continuando hasta la calle 21, siguiendo en la dirección oeste-este hasta la carrera 12^a, prosiguiendo por ella desde la calle 21 hasta calle 15, donde puede continuar en la dirección deseada. En la Figura 4-7 se muestran las rutas alternativas propuestas para las motocicletas.

Figura 4-7 Rutas Alternativas para motocicletas



4.1.5 Construcción de modelo para escenario 4

Este escenario se evalúa la alternativa No 3, complementando esta medida con la optimización de los tiempos en las intersecciones semaforizadas.

4.2 Presentación de resultados de la simulación

Una vez construido los modelos de los cuatro escenarios descritos se procedió a realizar la simulación a partir de la cual se obtuvieron los indicadores para evaluar la operación de la red. En la Tabla 4-4, se muestran algunos de los indicadores estimados en la modelación. A fin de evaluar los niveles de servicios de las intersecciones detallaremos las colas máximas y las demoras.

Tabla 4-4 Indicadores de evaluación de la red

INDICADOR	UNIDAD
Tiempo de demora media por vehículo	s
Promedio de velocidades	km/h
Tiempo de demora total	h



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Distancia total recorrida	km
Total de demora en la parada	h
Total de tiempo de viaje	h

Fuente: Elaboración propia

Otros indicadores que arroja la simulación fueron los consumos de combustible y emisiones; en general los valores son función de la longitud de la red modelada. Por otra parte, los niveles de servicio se evaluarán según las demoras, que representan para el usuario una medida de tiempo perdido de viaje, del consumo del combustible, de la incomodidad y de la frustración. En la Tabla 4-5, se definen los niveles de servicio en intersecciones.

Tabla 4-5 Niveles de servicio

Nivel de servicio	Demoras por vehículo (seg)	Características de flujo
A	< 10	La mayoría de los vehículos llegan durante la fase de verde y no se detienen del todo
B	10,1 - 20	Algunos vehículos comienzan a detenerse
C	20,1 - 35	La progresión de tránsitos regular y algunos ciclos empiezan a malograrse
D	35,1 - 55	Mucho vehículos se detienen
E	55,1 - 80	Se considera como límite aceptable de demoras
F	>80	Los flujos de llegada exceden la capacidad de la intersección, ocasionando congestión y operación saturada.

Fuente: Manual de capacidad de carreteras (HCM 2010)

4.2.1 Modelación de Escenario No 1

El escenario No 1 representa la situación actual, determinando el punto de partida o línea base y los indicadores iniciales. Los resultados obtenidos para toda la red modelada se muestran en la Tabla 4-6 y Tabla 4-7, se observa que las intersecciones semaforizadas en la calle 7 y calle 15 tienen un nivel de servicio F, denotando alta congestión. Entretanto, la intersección semaforizada de la estación 5 calle 14 presenta un nivel de servicio D, indicando poca regularidad del tránsito y el comienzo del deterioro de su nivel de servicio. También se observa el estado crítico de funcionamiento de la intersección de prioridad calle



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

11 y calle 11ª(estación 3) la cual presenta un nivel de servicio F. El tránsito entre las intersecciones calle 7 y calle 15 presenta bajos niveles de servicio (NS F) , lo que se traduce en largas demoras y tiempos de viaje, debido a los múltiples conflictos que se presentan entre los vehículos. Además, las intersecciones semaforizadas no tienen una programación óptima, lo que hace evidente la necesidad de establecer intervenciones de gestión de tránsito para mejorar la operación del corredor.

En la Tabla 4-7 también se pueden observar las longitudes de cola de las intersecciones semaforizadas, corroborando lo indicado en el análisis de niveles de servicio. Que las más largas colas se generan en la intersección calle 15 en el sentido este-oeste y oeste-este, en la intersección calle 7 en el sentido sur-norte y este-sur.

Tabla 4-6 Características operacionales de la red. Escenario No 1

Indicador	Unidad	Valor
Tiempo de demora media por vehículo	seg	156
Promedio de velocidades	km/h	20,5
Tiempo de demora total	h	317,2
Distancia total recorrida	km	10.140
Total de demora en la parada	h	156,6
Total de tiempo de viaje	h	495,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-7 Evaluación niveles de servicio de las intersecciones. Escenario 1

Estación	Demora total (segundo)	Cola máxima (m)	Niveles de servicio
1	89	160,5	F
2	41,4	79	D
3	88,4	101,2	F
4	19	17,8	B
5	39,4	98,8	D
6	142	510,2	F
7	22,9	30,1	C
8	19	10,2	B
9	31,2	155,9	C

Fuente: Elaboración propia

La intersección de prioridad o señal de pare más relevante es la ubicada en la calle 28ª, en la que el tránsito está constituido en más del 50% por motocicletas. Los conflictos en esta intersección se generan por los entrecruzamientos de las motocicletas con otros tipos de



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

vehículos, particularmente por las malas conductas de los motorizados, quienes realizan maniobras no permitidas. En ese sentido, es necesario establecer medidas de educación y control para corregir este comportamiento.

4.2.2 Modelación de Escenario No 2

Los resultados de obtenidos en la Tabla 4-8 corresponden a la simulación de la situación actual bajo diferentes factores de equivalencia con un flujo convertido a la condición de tráfico homogéneo de acuerdo con un vehículo equivalente.

En ella se observan cómo cambian los parámetros operacionales de la red con el uso de diferentes factores para equivalencia de motos, se observa como disminuye el promedio de velocidad a medida cuando se aumenta el factor moto. De acuerdo con los resultados también se puede decir que valores de factores de equivalencia de motos superiores e inferiores de a 0.33 cuando se simulan tráfico altamente heterogéneo, para nuestro caso de estudio, pueden llevar al especialista en tránsito a no representar las condiciones de la realidad,

Tabla 4-8 Características operacionales de la red. Escenario No 2

Indicador	Unidad	FEM	FEM	FEM	FEM	FEM
		0,07	0,16	0,33	0,50	0,75
VALOR						
Demora media por vehículo	s	97,2	112,8	166,4	234,7	312,8
Promedio de velocidades	km/h	28,9	26,5	20,2	15,6	12,2
Tiempo de demora total	h	114,6	143,3	240,3	374,9	546,5
Distancia total recorrida	km	6.170,9	6.601,3	7.155,0	7.771,9	5.258,4
Demora total por parada	h	60,6	66,1	89,3	104,0	128,5
Total de tiempo de viaje	h	213,3	248,9	354,7	449,3	678,5

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de comparar valores de escenario No 2 con el No 1 se seleccionan la simulación con FEM 0.33 como los resultados que más se ajustan a la simulación del tráfico heterogéneo. En la Tabla 4-9 que denota un mejor comportamiento global del sistema, solo dos intersección con nivel de servicio E, D que son las semaforizadas, se observa el poco efecto en los nodos 7, 8, 9 en el comportamiento, muy a pesar que el flujo de motocicletas



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

en este sector es mayor que el de autos, causado por el efecto de homogenizar. Ello pareciera sugerir que la opción de homogenizar el tránsito mediante el uso de equivalencia pudiera, al menos en la instancia analizada, reflejar condiciones de operación mejores que las que se tienen en realidad, por lo cual debe tenerse especial cuidado al concluir cuando se use factores de equivalencia para análisis de tránsito.

Tabla 4-9 Evaluación de niveles de servicio de las intersecciones. Escenario 2 FEM 0.33

Estación	Demora total (segundo)	Cola máxima (m)	Niveles de servicio
1	54,30	158,7	D
2	9,20	57,4	A
3	7,10	44	A
4	1,20	7,2	A
5	18,80	57,2	B
6	79,50	503,9	E
7	1,40	6,9	A
8	0,60	0	A
9	1,50	0	A

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Modelación de Escenario No 3

Los resultados obtenidos para esta modelación evalúan el impacto en la red del escenario No 1 al excluir del flujo el volumen de motocicletas. Al leer la Tabla 4-10 resalta el indicador promedio de velocidad, que al ser comparado con el Escenario 1, muestra un significativo incremento de la velocidad (hasta duplicarse), mostrando el efecto de las motocicletas sobre la calidad del flujo. Una tendencia similar, aunque no tan marcada, se muestra para otros indicadores.

Tabla 4-10 Características operacionales de la red. Escenario No 3

Indicador	Unidad	Valor
Tiempo de demora media por vehículo	s	40,7
Promedio de velocidades	km/h	41,4
Tiempo de demora total	h	43,5
Distancia total recorrida	km	5.621,3
Total de demora en la parada	h	28.381
Total de tiempo de viaje	h	135,9



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Fuente: Elaboración propia

Al observar los resultados de la Tabla 4-11 se observa un mejor comportamiento de cada una de las intersecciones modeladas de acuerdo a los niveles de servicio arrojados.

Tabla 4-11 Evaluación de niveles de servicio de las intersecciones. Escenario 3

Estación	Demora total (segundo)	Cola máxima (m)	Niveles de servicio
1	66,8	102,7	E
2	12	20,7	B
3	33,4	27	D
4	21	28,1	C
5	40,7	61	D
6	70	148,1	E
7	13,5	21,8	B
8	11,9	6	B
9	9,2	80,1	A

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Modelación de Escenario No 4

En este escenario, cuyos resultados se sintetizan en la Tabla 4-12, difiere del Escenario 3 en que se han optimizado los tiempos de ciclo. Como se esperaba, hay una mejora en los niveles de servicio en las intersecciones semaforizadas al compararlo con la situación base.

Tabla 4-12 Características operacionales de la red. Escenario No 4

Indicador	Unidad	Valor
Tiempo de demora media por vehículo	s	46,7
Promedio de velocidades	km/h	39,4
Tiempo de demora total	h	49,97
Distancia total recorrida	km	5.598
Total de demora en la parada	h	35,3
Total de tiempo de viaje	h	142,1

Fuente: Elaboración propia

Los resultados mostrados Tabla 4-13 detallan el comportamiento de cada una de las intersecciones. No obstante las mejoras en los indicadores, se observa que la optimización de los semáforos tiene un efecto limitado en la intersección del corredor con la calle 15,



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

situación que en gran medida se explica por el alto flujo de paso dado que es la vía nacional 90, conocida como Transversal del Caribe.

Tabla 4-13 Evaluación de niveles de servicio de las intersecciones. Escenario 4

Estación	Demora total (segundo)	Cola máxima (m)	Niveles de servicio
1	53,3	90,7	D
2	12	20,7	B
3	33,4	27	C
4	21	28,1	C
5	39,8	55	D
6	62,4	128,1	E
7	13,5	21,8	B
8	11,9	6	B
9	9,2	80,1	A

Fuente: Elaboración propia

4.2.5 Comparación de escenarios

En la Tabla 4-14, se pueden observar los resultados de los indicadores obtenidos en los cuatro escenarios modelados para evaluar el desempeño de la red. Este cuadro comparativo muestra cómo estos indicadores cuantitativos ajustan sus valores para un mejor comportamiento de la red.

Tabla 4-14 Parámetros de desempeño de la Red

Indicador	VALORES DE ESCENARIOS			
	1	2 FEM 0.33	3	4
Tiempo de demora media por vehículo (seg)	156	166,4	40,71	46,735
Promedio de velocidades (km/h)	20,46	20,2	41,4	39,403
Tiempo de demora total (h)	317,2	240,3	43,5	49,97
Distancia total recorrida (km)	10140	7.155,0	5621	5598
Total de demora en la parada (h)	156,6	89,3	28,381	35,275
Total de tiempo de viaje (h)	495,7	354,7	135,9	142,1

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los resultados de las demoras totales y colas máximas en toda la red, como se puede observar en la Tabla 4-15, Tabla 4-16 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Figura 4-9 es el Escenario 4 el que muestra el mayor impacto en la mejora sobre el nivel de servicio en las intersecciones, estableciendo la bondad de segregar flujos.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Tabla 4-15 Comparación de demora totales en las intersecciones

Intersección	DEMORA TOTAL (SEG)			
	Escenario 1	Escenario 2 FEM 0.33	Escenario 3	Escenario 4
1	89	54,30	66,8	53,3
2	41,4	9,20	12	12
3	88,4	7,10	33,4	33,4
4	19	1,20	21	21
5	39,4	18,80	40,7	39,8
6	142	79,50	70	62,4
7	22,9	1,40	13,5	13,5
8	19	0,60	11,9	11,9
9	31,2	1,50	9,2	9,2

Fuente: Elaboración propia

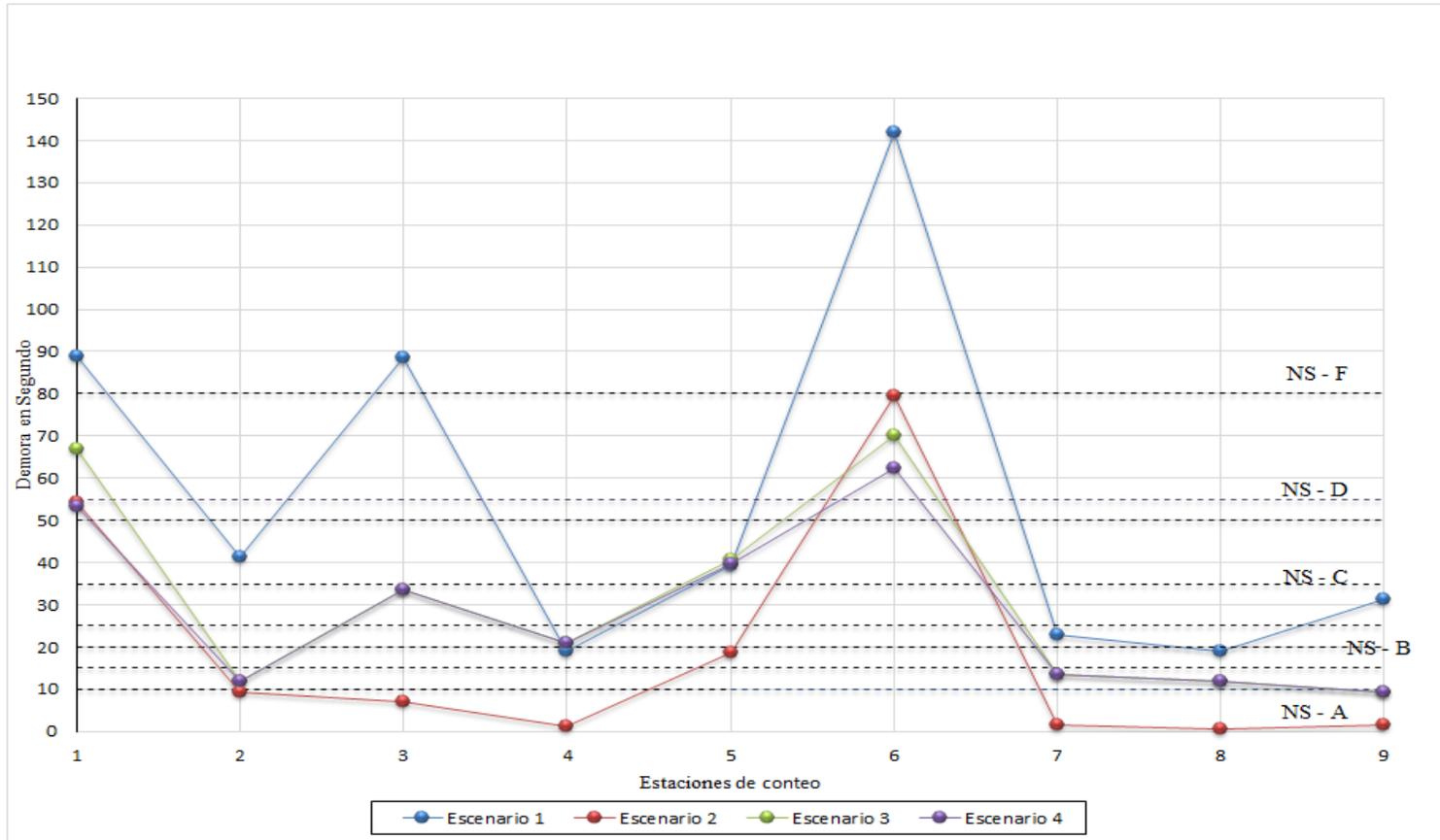
Tabla 4-16 Cola máxima por intersección

Intersección	Escenario 1	Escenario 2 FEM 0.33	Escenario 3	Escenario 4
1	160,5	158,7	102,7	90,7
2	79	57,4	20,7	20,7
3	101,2	44	27	27
4	17,8	7,2	28,1	28,1
5	98,8	57,2	61	55
6	510,2	503,9	148,1	128,1
7	30,1	6,9	21,8	21,8
8	10,2	0	6	6
9	155,9	0	80,1	80,1

Fuente: Elaboración propia



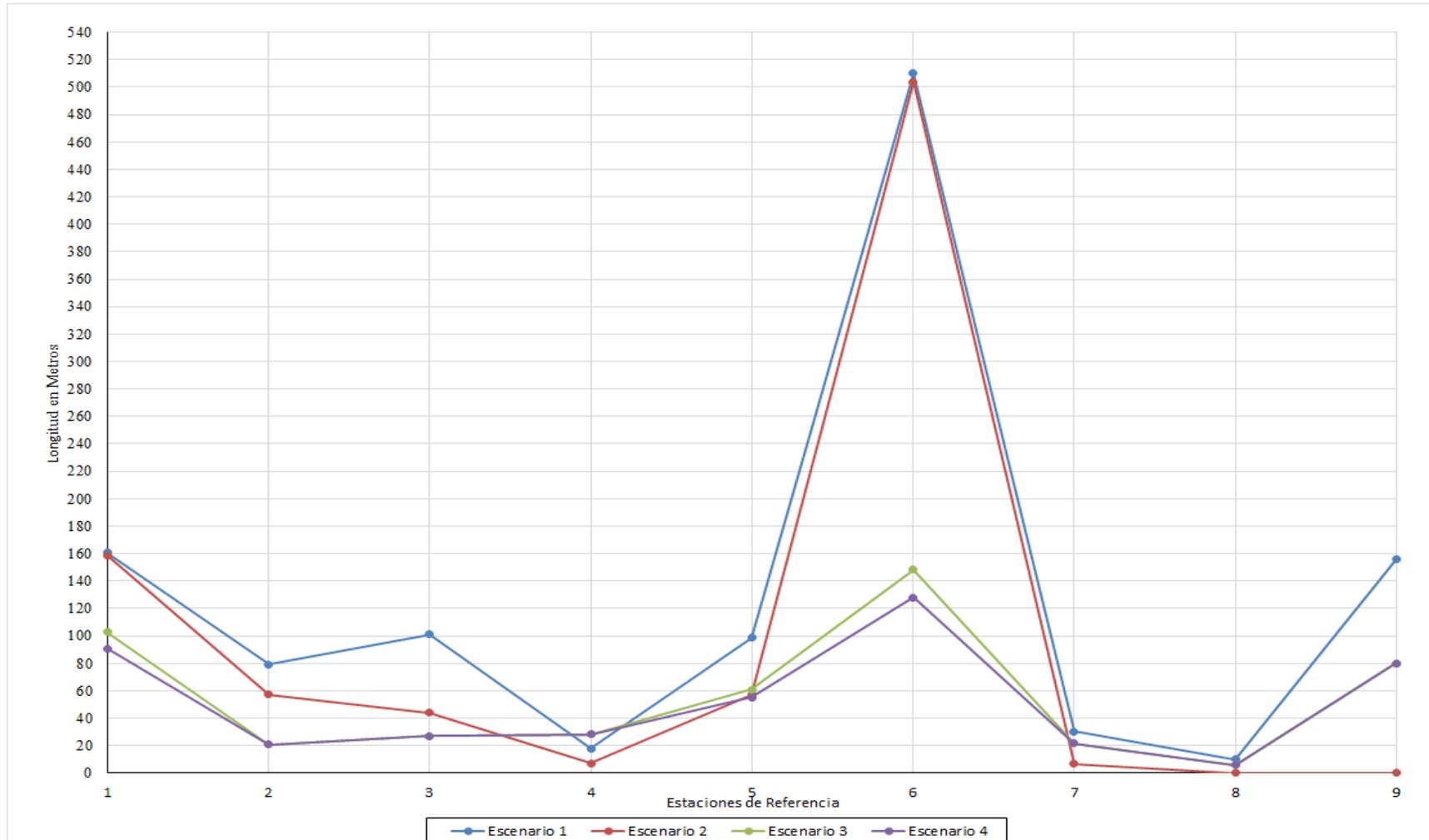
Figura 4-8 Demora media por vehículo en los escenarios evaluados



Fuente: Elaboración propia



Figura 4-9 Comparación cola máxima diferentes escenarios



Fuente: Elaboración Propia



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

4.2.6 Comparación de escenarios No 1 y No 2

Comparando los resultados de estas evaluaciones, puede notarse que al simular el tránsito homogeneizando los flujos utilizando un factor de equivalencia de moto de 0.33, hay una disminución en las demoras totales, distancia recorrida, tiempo total de viaje etc., No obstante, la velocidad media es muy similar. Debe tener especial atención en la situación de homogeneidad y este hecho debe ser considerado cuidadosamente, puesto que la homogenización del tránsito utilizando equivalencias vehiculares que puede conducir a errores en la modelación.

Tabla 4-17 Características operacionales para tránsito heterogéneo y homogéneo

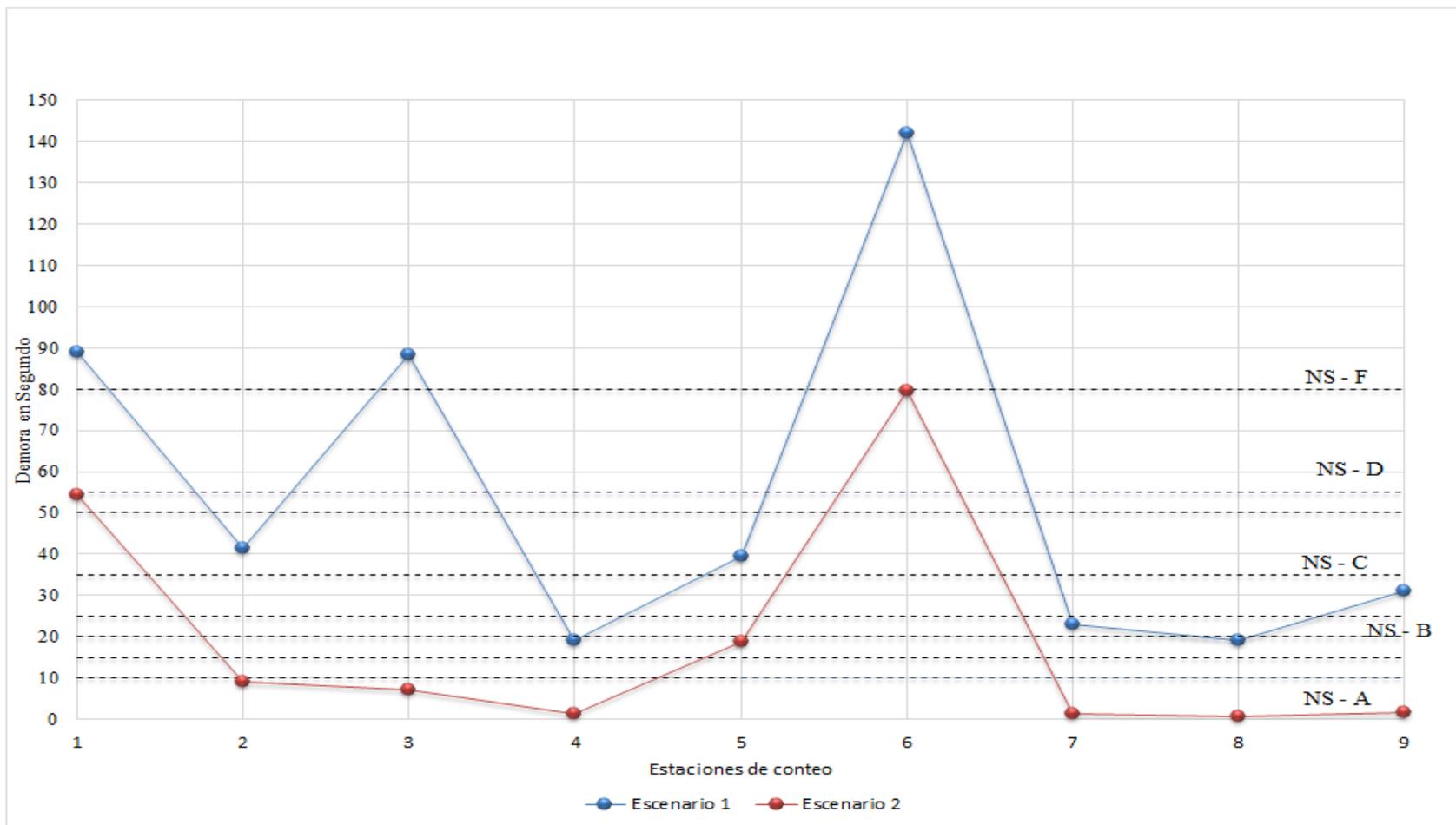
Parámetro	Escenario 1	Escenario 2 FME 0.33
Tiempo de demora media por vehículo	156	166,4
Promedio de velocidades	20,5	20,2
Tiempo de demora total	317,15	240,3
Distancia total recorrida	10.140,16	7.155,0
Total de demora en la parada	156,6	89,3
Total de tiempo de viaje	495,7	354,7

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-10 y la Figura 4-11 se observa que los indicadores de longitud de cola y demoras siguen tendencias similares, aunque hay diferencias importantes especialmente en la intersección 3 y 9. En casi todas las intersecciones las valoraciones que se tienen del nivel de servicio son diferentes, puesto que el hecho de homogenizar cambia de manera importante el comportamiento de las intersecciones.



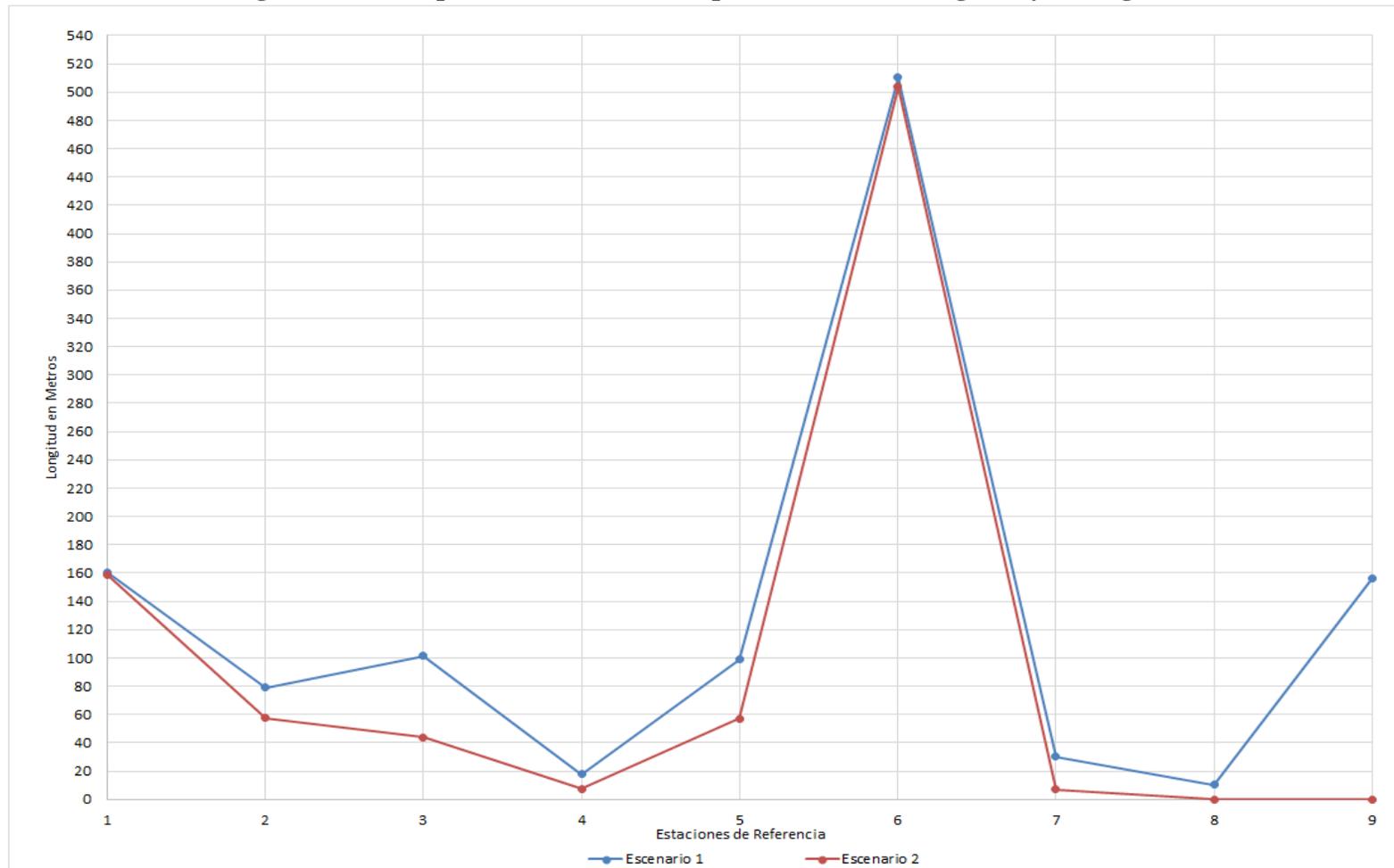
Figura 4-10 Comparación de demoras para tránsito heterogéneo y homogéneo



Fuente: Elaboración propia



Figura 4-11 Comparación cola máxima para tránsito heterogéneo y homogéneo



Fuente: Elaboración propia



4.3 LA SIMULACIÓN PARA ANÁLISIS DE IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN EL CORREDOR

Se puede observar claramente en las evaluaciones realizadas en el capítulo anterior y en especial con el último escenario, la mejora notable en los parámetros de desempeño de la red, niveles de servicios y colas, cuando se excluye el tránsito de motocicletas por el corredor; pero esta medida debe ser justificada conociendo valores de predicción futura del comportamiento de tráfico, ese es el objeto de desarrollo de este numeral: evaluar el comportamiento de la red cuando se incrementan los flujos vehiculares de motocicletas. Con el fin de evaluar el impacto que se genera cuando se incrementa el tránsito de motocicletas se ha realizado un diseño experimental, variando las entradas de flujo de tránsito en el corredor, y se ha tomado un segmento evaluado del sector comprendido entre las calles 14 y 15, con el fin de obtener datos de salida para analizar el comportamiento del tránsito.

Este modelo se construye física y operacionalmente con una parte de la red evaluada en el numeral 4.1 se tomó una longitud de 955 m aproximadamente, analizando que ocurre en las dos intersecciones semaforizadas calle 15 (Semáforo No 1 Longitud 249 m) y calle 14 (Semáforo No 2 Longitud 800 m).

En este punto, se busca evaluar el comportamiento de las relaciones velocidad-flujo-densidad en el corredor estudiado cuando se incrementa el tránsito de motocicletas.

En la Tabla 4-18 se muestran los datos de entradas de flujo en el modelo inicial, que corresponden al modelo para el escenario No 5.

Tabla 4-18 Datos entrada situación actual

ACCESOS	FLUJO (VEH/HR)	COMPOSICIÓN VEHICULAR			
		(%)MOTO	(%)CAR	(%) BUS	(%) CAMIONES
OESTE CALLE 14	359	22%	78%		
ESTE CALLE 14	139	60%	40%		
NORTE CALLE 14	505	46%	54%		
OESTE CALLE 15	1259	44%	51%	2%	3%
ESTE CALLE 15	1242	42%	51%	4%	3%
SUR CALLE 15	1101	55%	45%		

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4-19 se pueden observar las proyecciones de los incrementos de flujos, los modelos experimentales construidos tienen como sustento el crecimiento del parque automotor específicamente de los tipos autos y motos, los incrementos representan una tasa



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

de crecimiento anual de 7.5% motos y el incremento total corresponde a un periodo de evaluación de 12 años.

Tabla 4-19 Afectación de volúmenes de tránsito

ESCENARIO NO	VARIABILIDAD EN EL FLUJO	PERIODO ESTIMADO (AÑOS)
5	SITUACIÓN ACTUAL	0
6	30% MOTOS	4
7	60% MOTOS	8
8	80% MOTOS	10
9	100% MOTOS	12

Fuente: Elaboración propia

4.3.1 Presentación de resultados (Evaluación del impacto de la motocicleta en la red)

La Tabla 4-19 muestra los escenarios propuestos para la evaluación de la red cuando hay un crecimiento vehicular de motos.

Luego de construcción del modelo, la calibración y validación se corrieron los diferentes escenarios, arrojando los resultados indicados en la Tabla 4-20.

Tabla 4-20 Parámetros evaluación de la red

ESCENARIOS NO	5	6	7	8	9
PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LA RED					
VELOCIDAD MEDIA [KM/H], AUTOMÓVIL	28,585	22,639	16,837	16,457	14,728
VELOCIDAD MEDIA [KM/H], MOTOS	29,84	22,118	15,884	14,644	13,231
VELOCIDAD MEDIA [KM/H], TODOS	28,931	22,326	16,348	15,365	13,726
TIEMPO TOTAL DE VIAJE [H], AUTOS	11.525	15.134	21.868	19.787	20.77
TIEMPO TOTAL DE VIAJE [H], MOTO	8.956	15.592	20.845	29.002	34.747
DEMORA TOTAL [H], TODOS	9.454	18.152	43.723	50	57.571
TIEMPO TOTAL DE VIAJE [H], TODOS	21.349	31.844	29.996	35.247	42.367

Fuente: Elaboración propia

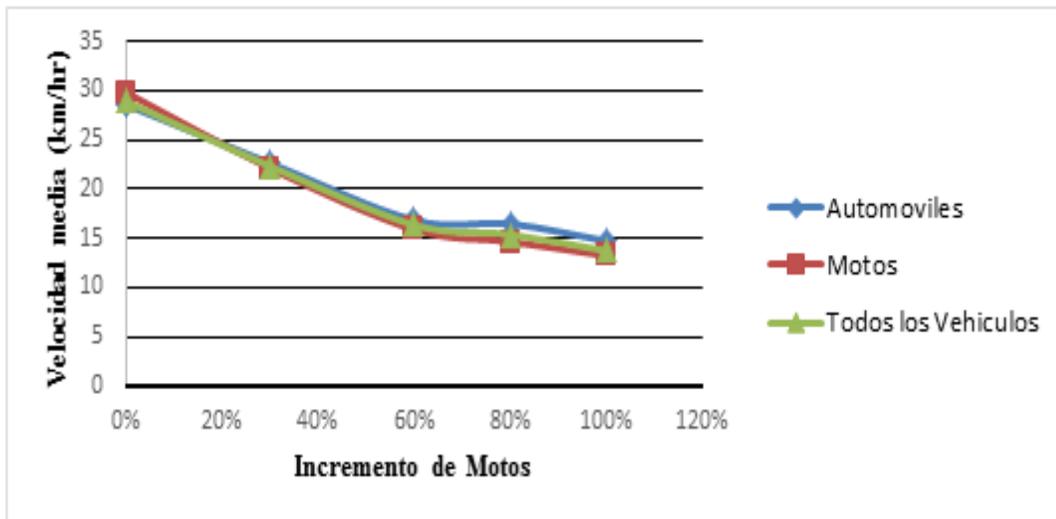
De acuerdo con los resultados obtenidos se puede observar la disminución de tiene la velocidad en con el crecimiento de motos, como lo muestra la Figura 4-12, también se observa como en un periodo de 12 años, el indicador de velocidad estará reducido en un



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

50% para todos los vehículos, cabe anotar que este análisis no tiene en cuentas otras externalidades.

Figura 4-12 Incremento de motos vs Velocidad media (km/h)



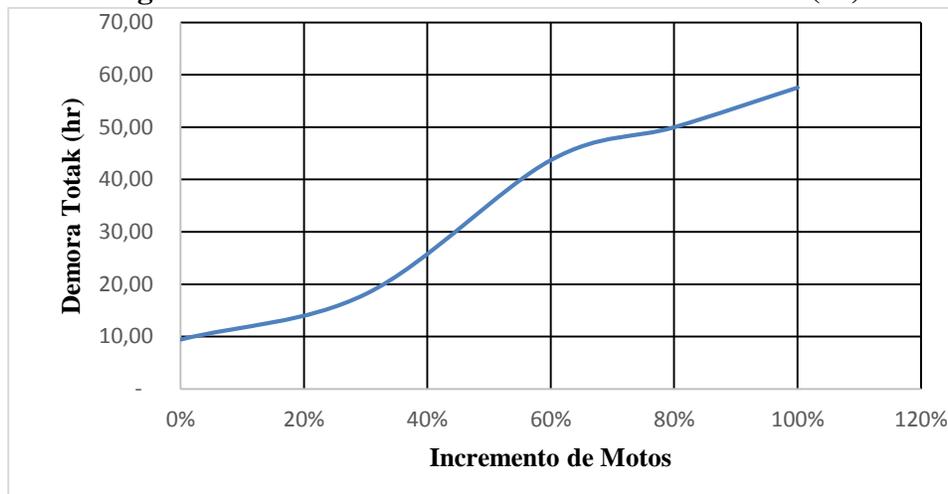
Fuente: Elaboración propia

Otro indicador representativo a analizar es el de la demora total en toda la red Figura 4-13, se observa el comportamiento negativo de la demora para cada uno de los Incrementos, lo que muestra estos resultados es que solo en cuatro años con el crecimiento del 30% el indicador se duplica, y en los doce (12) años de proyección se incrementa en más 8 veces, lo que lleva a pensar que se deben tomar medidas urgentes para gestionar el tránsito, en caso contrario en poco tiempo tendremos de viajes mayores e incómodos para el usuario del corredor, así como altas tasas de accidentalidad.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Figura 4-13 Incrementos de Motos vs Demora total (hr)



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta las tasas de crecimiento anual de vehículos motorizados para Colombia (Centro de Naciones Unidad para el desarrollo Regional UNCRD, 2011), vehículos ligeros presentan una tasa de 6,6% y las motocicletas del 14,7% y comparando estos con los valores encontrados se puede decir que en un término de cuatro años cuando la motocicletas tenga un incremento del treinta (30%) el sistema analizado tendrá un comportamiento congestionado, grandes tiempos de viajes, demoras altas etc., esto hace relevante la búsqueda de alternativas con el fin de hacer una efectiva gestión de tránsito en el caso de estudio.

4.4 LA SIMULACIÓN ESCENARIO CARRIL EXCLUSIVO PARA MOTOS

Como una alternativa de solución planteada en países donde la composición vehicular contiene altos y crecientes volúmenes de motocicletas, especialistas han propuesto segregar este tipo de vehículos en carriles exclusivos. Determinar la geometría apropiada para los carriles destinados a las motocicletas requiere evaluar su comportamiento a través de las relaciones de velocidad-flujo-densidad y la estimación de la capacidad como función del ancho del carril. Para ello se utilizarán herramientas de simulación en el corredor elegido realizando variaciones en los flujos de motocicletas y la geometría del carril.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

4.4.1 Construcción del modelo

Para la construcción de este modelo se tomarán varias propuestas geométricas de la sección transversal del carril. La red simulada tiene una longitud de 954,4 m., el semáforo No 1 se encuentra a 247 m del inicio del tramo y el semáforo No 2 está a 795 m.

Los vehículos circulantes para el caso en estudio en su gran mayoría son usados como medio de transporte por sus propietarios y como vehículos para prestar un servicio de transporte informal, fenómeno conocido como mototaxismo. En la Tabla 4-21 se describen las características de las motocicletas usadas en la ciudad.

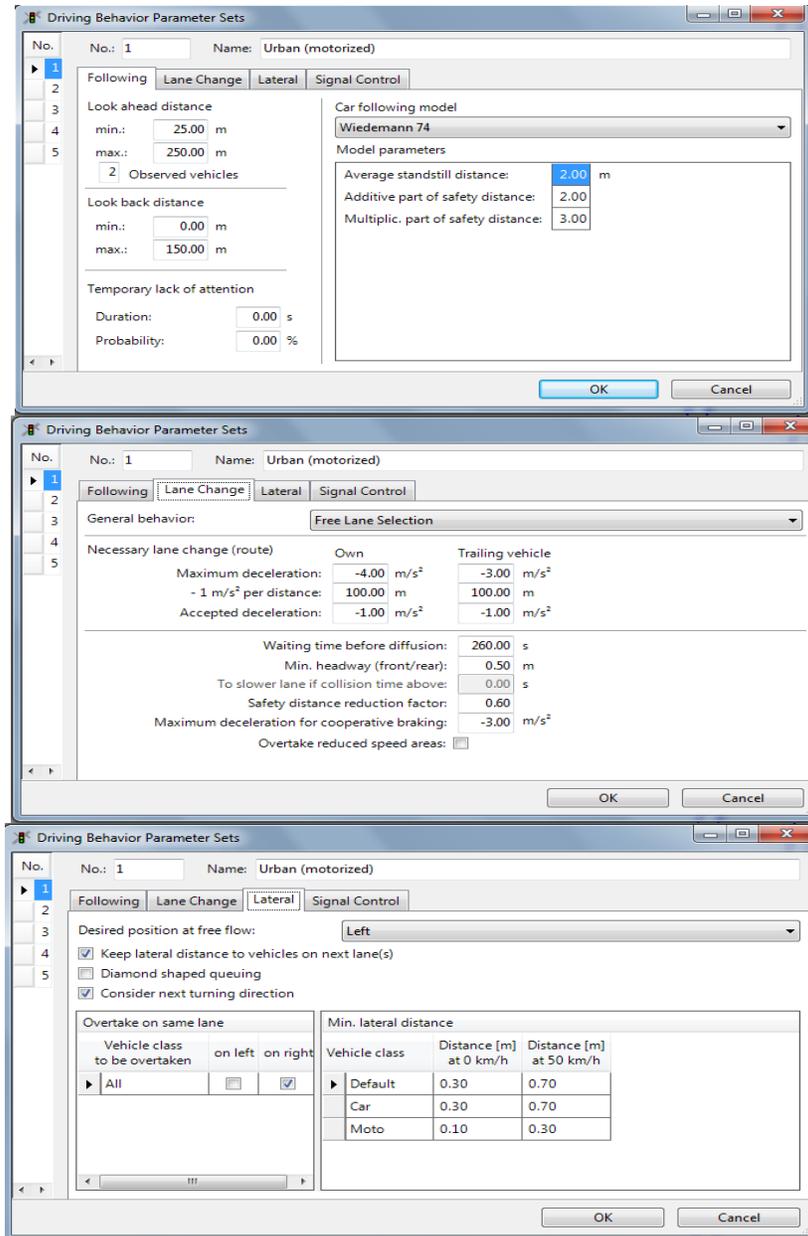
Tabla 4-21 Características de las motocicletas

TIPO	LONGITUD	ANCHO	ALTURAS	CILINDRAJE
1	1,8	0,80	1,75	MENOR 175CC
2	2,0	0,80	1,75	175CC

Fuente: Elaboración propia

Para la asignación de los parámetros que definen el comportamiento del conductor, se definen valores que tengan en cuenta la libertad de comportamiento en cualquier lugar del carril, mínima distancia lateral de 0.3 a una velocidad de 50 km/h y otras consideraciones que caractericen y representen apropiadamente el comportamiento real de los conductores de motocicletas en el caso específico de la ciudad de Riohacha. En la Figura 4-14 se pueden observar los cuadros de parámetros de comportamiento del programa de simulación Vissim®, tal como fueron asignados para el caso en estudio.

Figura 4-14 parámetros de Comportamiento del conductor



Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Características de las sesiones a proponer

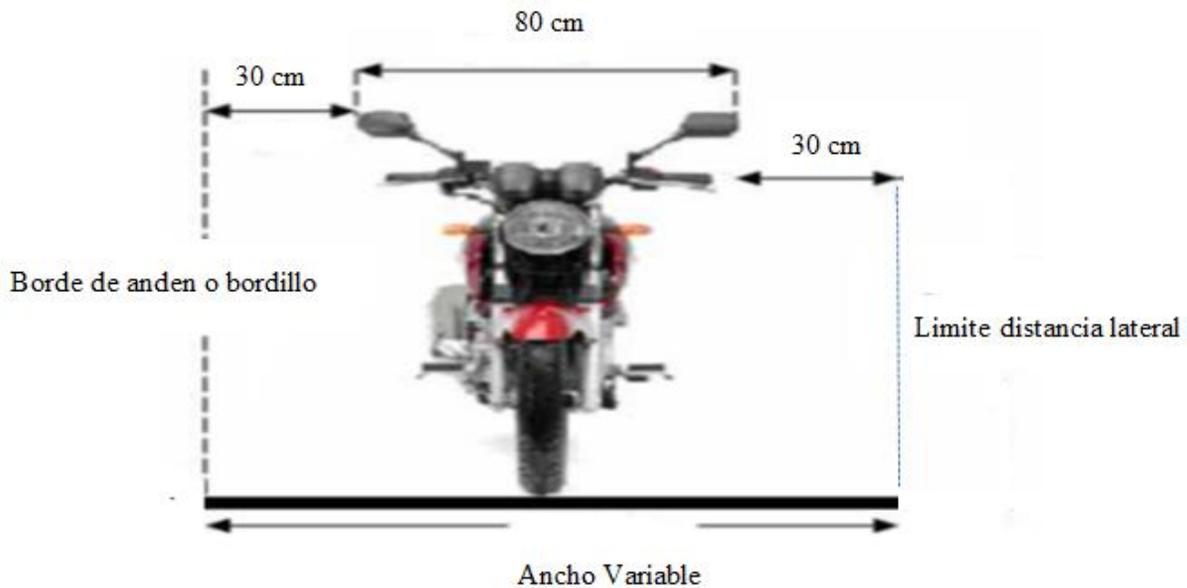
Los anchos de carril dependen principalmente de las características geométricas, operacionales de los vehículos que circulan por él, aspectos como el comportamiento del conductor, las reglamentaciones existentes para la operación, los límites de velocidad, restricciones de sobrepaso, son determinantes a la hora de definir el ancho óptimo.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

En esta investigación, teniendo en cuenta las restricciones de espacio en los derechos de vía, lo que obliga a que la propuesta de carriles exclusivos para motocicletas implique realizar una redistribución de los anchos de las calzadas existentes, disminuyendo el espacio para otras tipologías de vehículos, se propone establecer distancias laterales al borde de la acera de 30 cm, ancho de vehículo 0.80m e iniciar 30 cm la distancia con otros vehículos y luego ir aumentando los ancho con la finalidad de obtener una sección apropiada en la cual los vehículo puedan adelantar con seguridad y velocidades apropiadas. En la Figura 4-15 se muestra la sección típica para el primer ancho propuesto y en Tabla 4-22 se indican los anchos de carriles a modelar

Figura 4-15 sección típica para conducción de motocicleta



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-22 Anchos de carriles propuesto

Ancho de Carril	No Carriles
1,4	1,0
1,8	1,0
2,0	1,0
2,2	1,0
2,4	1,0

Fuente: Elaboración propia



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

4.4.3 Presentación de resultados

Una vez realizada la modelación se obtienen una variada cantidad de datos de salida del modelo, En la Tabla 4-23 se muestra los resultados del indicador Velocidad para cada ancho propuesto y en un rango de volumen de entrada, de igual forma en la Figura 4-16 se hace pueden observar las curvas que representa la velocidad –flujo para diferentes anchos de carril.

Tabla 4-23 Relación ancho de carril- volumen -velocidad

Volumen (veh/h)	Anchos de Carril (m)				
	1,4	1,8	2,0	2,2	2,4
	Velocidad Operación (Km/h)				
700	27,0	27,1	27,9	30,2	30,2
1.000	17,7	17,7	19,6	23,4	23,8
1.500	12,9	12,7	12,7	13,6	13,8
2.000	12,6	12,6	12,7	12,9	13,0
2.500	12,7	12,7	12,2	12,5	12,5
3.000	12,6	12,6	12,8	12,8	13,0

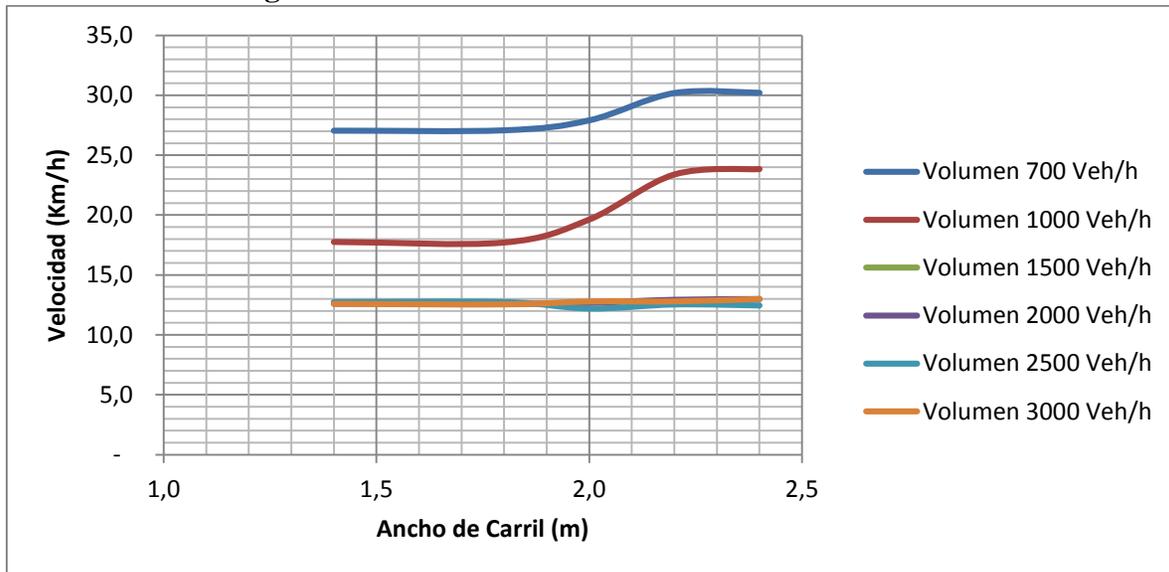
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4-23 se observa claramente el comportamiento del indicador velocidad el cual se vuelve prácticamente constante para los escenarios planteados para un flujo entre 1200 y 1300 vehículos por hora. También se observa la caída importante de la velocidad cuando se incrementa el flujo de 700 a 1200 motocicletas por hora. Debe aclararse que el modelo de simulación solo se presentan posibilidad de adelantamientos cuando el ancho del carril es de 1,9 m, valor que resulta una referencia para elegir la sección transversal.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

Figura 4-16 Velocidad vs ancho de carril vs volumen



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 4-16 se puede observar el comportamiento de la velocidad para distintos flujos variando los anchos de carril. Nótese que se obtiene un apropiado comportamiento para flujos entre 700 y 1000 motocicletas por hora. Cuando se llega a un ancho carril 1.8 m empieza aumentar la velocidad; a su vez, con un ancho de 1.9 m las motocicletas pueden adelantar en el mismo carril. La figura también indica que para volúmenes mayores a 1500 motocicletas/h las velocidades se mantienen muy constantes para todos los anchos de carriles analizados, mostrando variaciones poco relevantes, resultantes de la aleatoriedad inherente al proceso de modelación.

Otro indicador analizado es el de la demora en toda la red contra el flujo para diferentes anchos de carril, en la Tabla 4-24 se observa como las demoras se incrementan para un mismo ancho de carril 3 veces aproximadamente con el incremento de flujo, pero también hay que decir que las demoras se incrementan de manera rápida esas tres veces cuando se aplica un flujo de 1500 motocicletas por hora.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

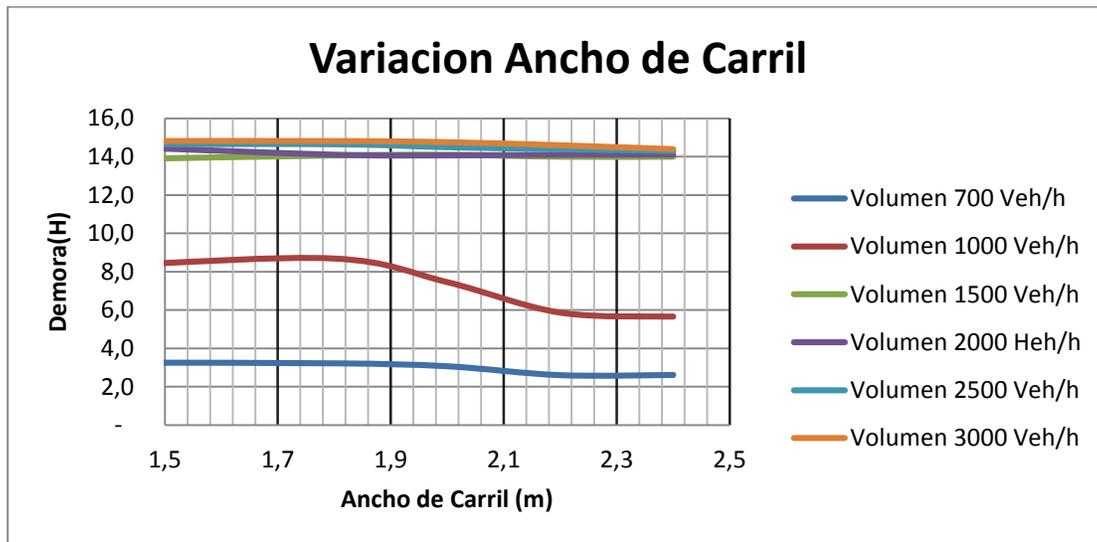
Tabla 4-24 Demoras para diferentes anchos de carril

Volumen (veh/h)	Anchos de Carril (m)				
	1,4	1,8	2,0	2,2	2,4
	Demoras (h)				
700	3,3	3,2	3,1	2,6	2,6
1.000	8,3	8,7	7,5	5,9	5,7
1.500	13,9	14,1	14,1	14,0	14,0
2.000	14,5	14,1	14,1	14,1	14,1
2.500	14,7	14,7	14,5	14,4	14,3
3.000	14,8	14,8	14,8	14,6	14,4

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-17 se puede observar el comportamiento de la demora para determinados flujos variando los anchos de carril. Nuevamente el comportamiento resulta más apropiado con flujos entre 700 y de 1000 motocicletas/hora, en especial cuando se llega a un ancho carril entre 1,8 y 2.2 m

Figura 4-17 Demora vs volumen para diferentes anchos de carril



Fuente: Elaboración propia

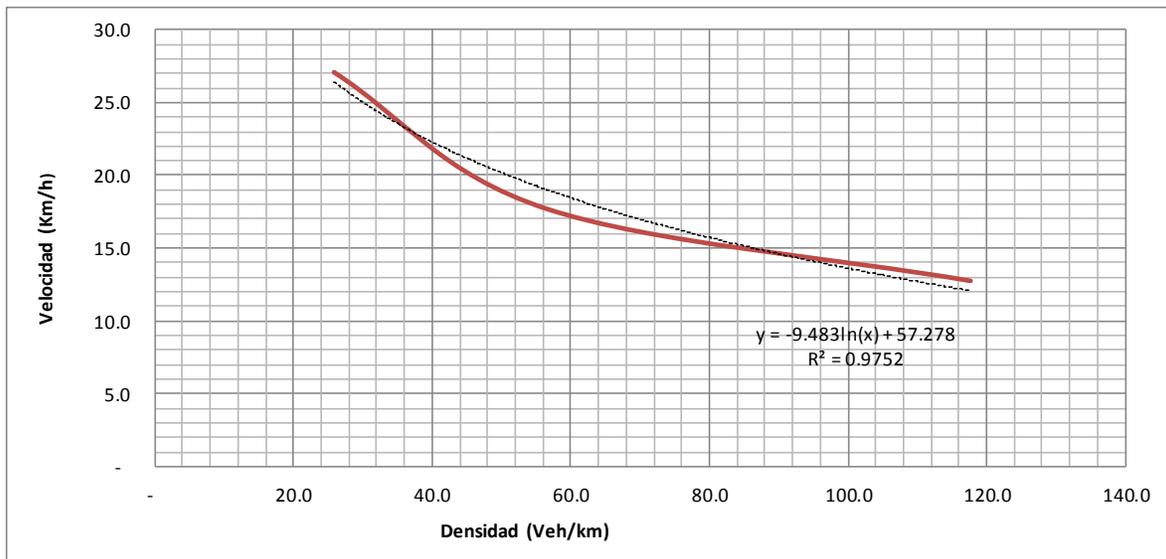
Otra relación observada en la presente investigación es la que muestran las, Figura 4-18, Figura 4-19 y Figura 4-20, los diagrama fundamentales relación Densidad vs Velocidad



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

para los anchos de carriles solo motos 1.8, 2.0 y 2.4 m, los cuales para el caso de los carriles solo motos el modelo logarítmico propuesto por (Greenberg, 1959), es el que se mejor ajusta para describir el patrón de avance de las motocicletas, el modelo indica que a medida que aumentan las densidades la velocidad disminuye, debido a que entre más motocicletas haya en el carril, los vehículos no pueden elegir viajar a la velocidad deseada, así hasta que la velocidad baje aproximadamente hasta 5km/h (Hussaina, Umarb , & Farha, 2011) en la cual los conductores pierden la estabilidad del vehículo, viéndose obligados a poner los pies sobre el suelo. Este modelo tiene tendencias similares a los obtenidos para los carriles exclusivos para automóviles, bicicletas, la diferencia con los automóviles es que estos si pueden viajar a velocidades bajas sin perder estabilidad y con las bicicletas que estas por su baja velocidad presentan poca sensibilidad para una amplia gama de flujo.

Figura 4-18 Velocidad vs Densidad para Ancho de carril 1.8

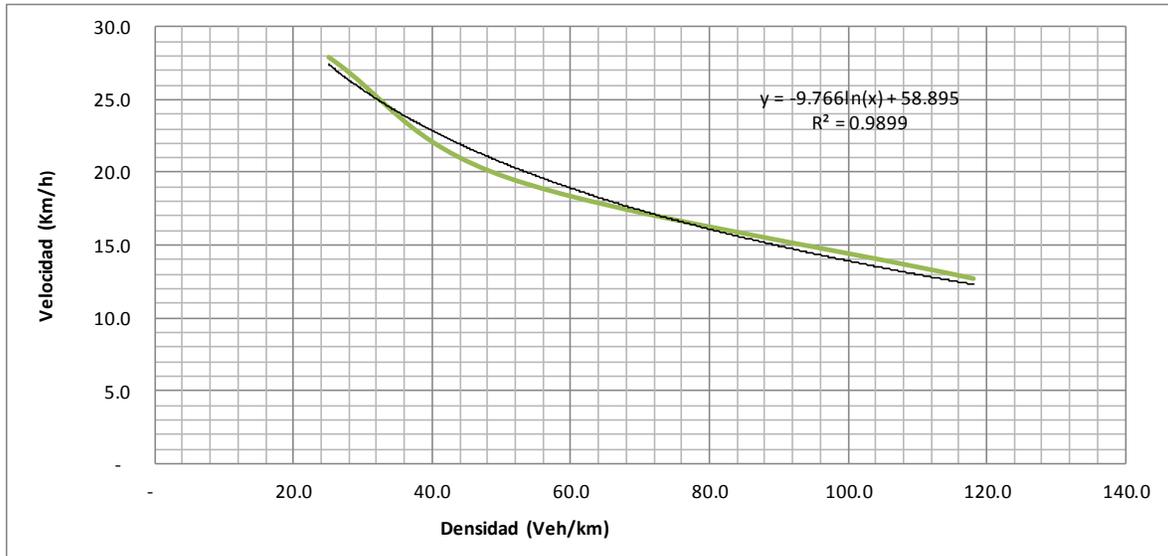


Fuente: Elaboración propia



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

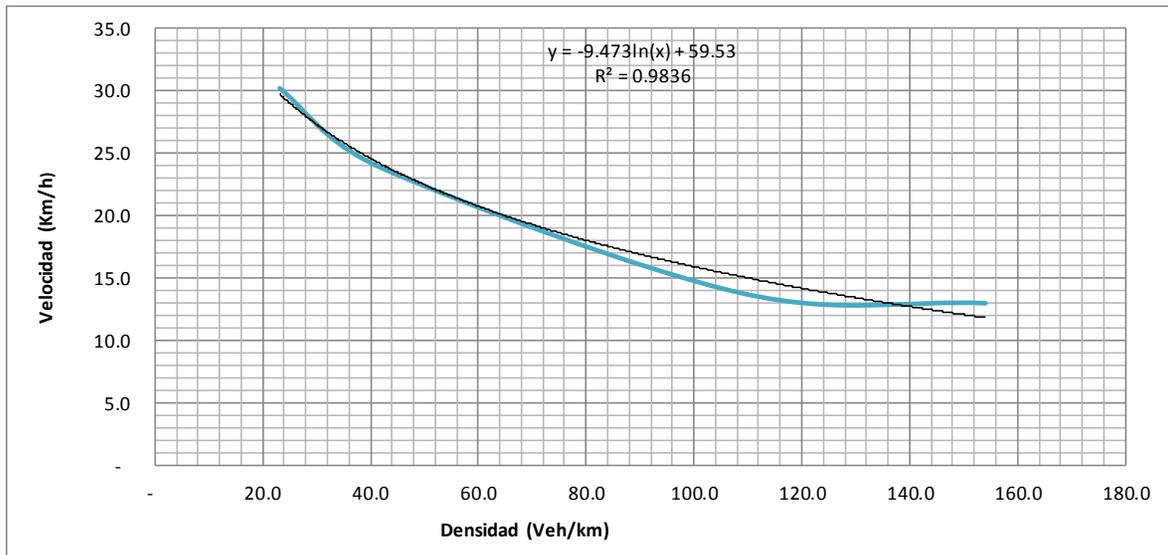
Figura 4-19 Velocidad vs Densidad para Ancho de carril 2.0



Fuente: Elaboración propia

En las Figura 4-19 Velocidad vs Densidad para Ancho de carril 2.0 observa un mejor ajuste modelo logarítmico propuesto por (Greenberg, 1959).

Figura 4-20 Velocidad vs Densidad para Ancho de carril 2.4



Fuente: Elaboración propia



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

A la luz de los resultados obtenidos, se pueden establecer dos rangos anchos de carriles posibles los menores de 1,9 en los cuales no hay posibilidad de adelantamiento de forma segura, de manera que los vehículos transitan en fila uno de tras de otro, casos en los cuales se tiene un comportamiento estable para flujos entre 700 y 1000 motocicletas por hora. También se observa en la relación velocidad- densidad que para densidades del orden de 150 veh/ km la velocidad promedio está en el orden de 10 km/hora. Para los valores de ancho mayores a 1,9 m para los carriles exclusivos para motocicletas, ya existe la posibilidad de adelantamiento, lo cual trae como consecuencias mejoras en los indicadores de velocidad y demoras como puede observarse en las Figura 4-16, Figura 4-17 para rangos de flujos máximos entre 700 y 1000 motocicletas por hora, también se observa que para anchos superiores a 2,2 m los indicadores antes mencionados presenta poca sensibilidad. En lo que respecta a los diagramas velocidad densidad se observa mejores ajustes de las curvas para los anchos de carril superiores a 1,9 pero conservándose los valores de velocidad de 10 km/h para densidades del orden de 150 Motocicletas/km, en la Tabla 4-25 se pueden observar los valores máximos arrojados por los modelos para los anchos de 1.8, 2.0 y 2.4 m.

Tabla 4-25 Indicadores Modelo logarítmico de Flujo vehicular

Parámetros	Anchos de Carril (m)		
	1,8	2,0	2,4
V _m (km/hr)	9,5	9,8	9,5
K _m (motocicletas/km)	154	153	197
K _c atascamiento (motocicletas/km)	419	416	536
Q máximo (moto/hora)	1.462	1.494	1.868

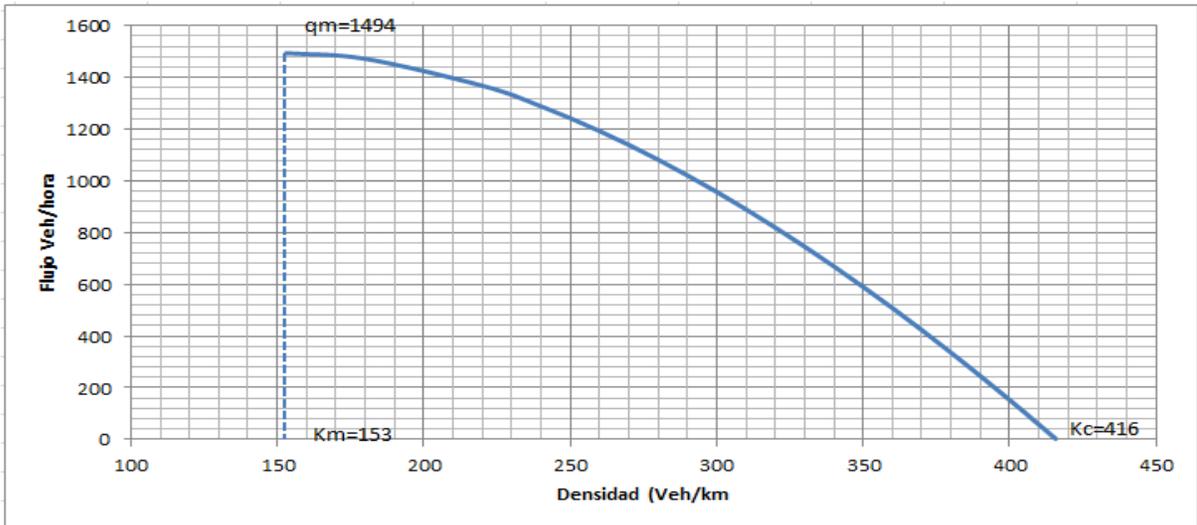
Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el análisis de estos resultados y conociendo la limitaciones de secciones transversales de las vías existente, recomendamos como ancho mínimo valor de 2.0 m, en las Figura 4-21, Figura 4-22 y Figura 4-23, se observan los diagramas del modelo logarítmico de del flujo vehicular para carril solo moto, ancho recomendado.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

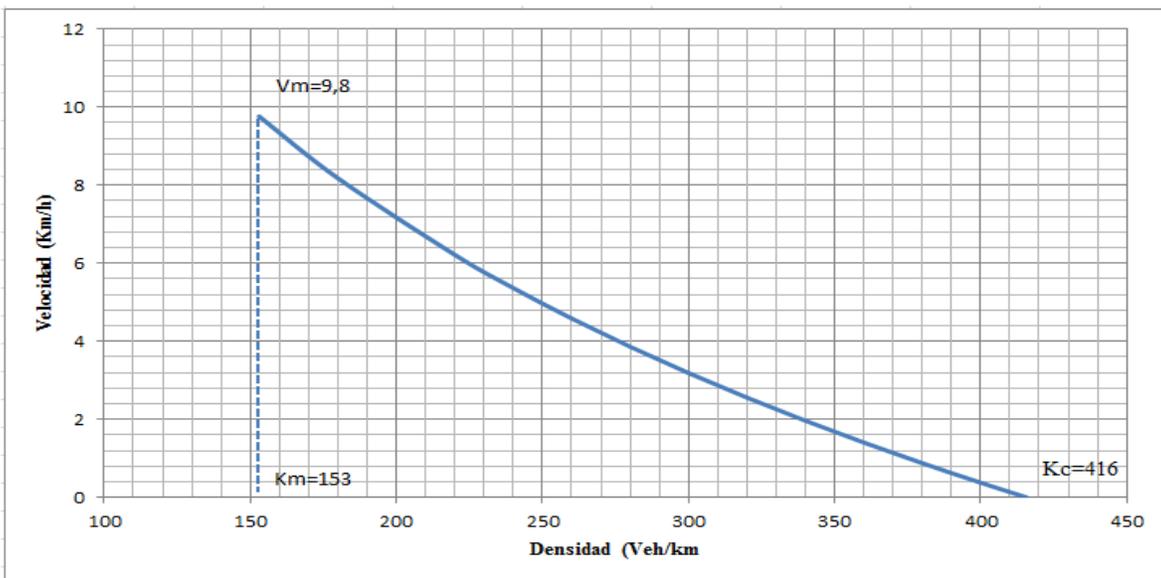
Figura 4-21 Diagrama Flujo vs Densidad para carril 2.0 m



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-21, se observan la densidad de atascamiento y el flujo máximo para velocidad de 10 km/hr

Figura 4-22 Diagrama Velocidad Vs Densidad para carril 2.0 m

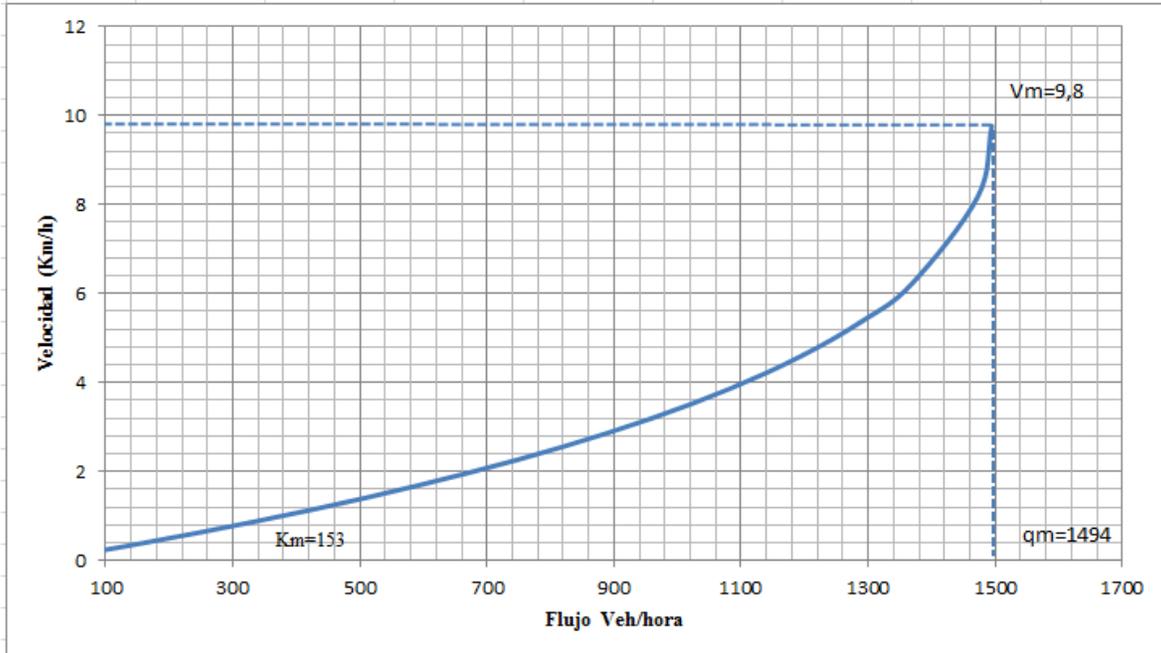


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-22, la velocidad máxima para una densidad de 153



Figura 4-23 Diagrama Velocidad Vs Flujo para Carril 2.0 m



Fuente: Elaboración propia

La aplicación del modelo de Greenberg indica que la velocidad en condiciones de capacidad es del orden de 10 km/h, mientras que la densidad de atascamiento es cercana a 420 motocicletas/km. La densidad a capacidad se aproxima a 153 motocicletas/km por lo cual la capacidad teórica acorde con el modelo es del orden de 1494 motocicletas / hora en el carril exclusivo bajo las condiciones simuladas para un ancho de 2.0 m.



5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis de los datos recolectados en campo para la ciudad de Riohacha, es evidente la alta participación de las motocicletas, que en algunos casos representan más de la mitad de los vehículos observados. El continuo y sostenido crecimiento de la motocicleta y su efecto sobre las externalidades asociadas a la movilidad obliga a plantear políticas e intervenciones para atenderlas.

La investigación realizada acierta en la hipótesis general según la cual el uso de modelos de agregación, utilizando vehículos equivalentes, falla al representar apropiadamente el comportamiento del flujo heterogéneo. Los resultados de la modelación indican que el uso de equivalente no representa cabalmente las condiciones de heterogeneidad en el flujo, lo cual puede implicar la obtención de indicadores sesgados.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el escenario 2 se observa que al probar varios factores de equivalencia de motos, es el de 0.33 el que se ajusta al caso de estudio, que debe tenerse cuidado en la elección del valor cuantitativo, convirtiéndose esto en la selección de una técnica en el análisis de tránsito cuando se usen factores de equivalencia en flujo altamente heterogéneos con participación de motocicletas.

Cuando se comparan los resultados de la modelación de tránsito situación actual en condiciones de flujo heterogéneo y homogenizando, se observa que en el último caso se tienen menores demoras y esperas, en tanto que se incrementan las velocidades. El uso de referentes obtenidos en otros contextos puede conllevar a errores altos de transferencia.

En el presente trabajo se propusieron y analizaron varios escenarios en la hora de máxima demanda, evaluando la capacidad y los niveles de servicio de nueve (9) intersecciones del corredor de la calle 15 en Riohacha. Como resultados importantes se resalta el hecho que las alternativas donde se segrega el uso de motocicletas mejora los niveles de servicio y las condiciones de transitividad en la red. Se demuestra que debido a que los usuarios de motocicleta tienen un comportamiento muy diferente al de los autos, generan perturbaciones en la calidad global del flujo.

El vertiginoso crecimiento de la motocicleta obliga a establecer políticas que pueden significar un cambio en los paradigmas del diseño urbano. Una opción es la de consolidar



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

una infraestructura apropiada e independiente para la circulación de este tipo de vehículo, segregándolo de otras tipologías de vehículos, de manera que circulen por vías exclusivas (motovías).

Un resultado importante obtenido tiene que ver con el ancho de carril apropiado para la vía exclusiva o motovía. Los resultados de la modelación permiten establecer que anchos entre 1.9 y 2.2 m resultan apropiados para alojar flujos entre 700 y 1000 motocicletas/hora en vías urbanas, obteniendo adecuados niveles de servicio. Anchos mayores a 2.2 m tienen un efecto sólo marginal. La aplicación del modelo de Greenberg indica que la capacidad teórica del carril exclusivo en el contexto simulado con ancho recomendado de 2.0 m es del orden de 1500 motocicletas/hora, a una velocidad de 10 km/h.

Futuras investigaciones pueden centrarse en realizar un estudio detallado de las diferentes tipologías vehiculares, en particular sus características geométricas y operacionales, a fin de incorporarlas en el modelo de simulación, permitiendo así obtener representaciones más ajustadas a la realidad. De igual manera, es importante realizar un análisis del comportamiento de los conductores de motocicletas, a fin de ajustar los parámetros de comportamiento del conductor en el modelo de seguimiento de vehículo Wiedermann 74 usado por el software VISSIM, o aún modificarlo.

Resulta igualmente interesante construir y probar el comportamiento del flujo vehicular en carriles exclusivos piloto, de manera que se pueda contrastar los resultados de la microsimulación con mediciones de campo.



6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Wiedemann, R. (1974). *Simulation des Strassenverkehrsflusses*. Karlsruhe, Germany. 1974: Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Band 8.
- Agudelo Torres, A. M. (2006). Análisis integral del estado de la Avenida Alberto Mendoza Hoyos sector Tuneles del Batallon Ayacucho - glorieta Expoferias. Manizales.
- Aranburo, V. G. (2008). *ANÁLISIS GENERAL DE LA MOVILIDAD Y BASES PARA UN PLAN MAESTRO DE TRANSPORTE PARA LA CIUDAD DE RIOHACHA*. Riohacha La Guajira.
- Aransan, V., & Vedagiri, P. (2009). Simulating Heterogeneous Traffic Flow on Roads with and without Bus Lanes. *JOURNAL OF INFRAESTRUTURE SYSTEM ASCE*, 305-312.
- Box, P. C. (1976). *Manual de Estudios de Ingenieria de Transito*. Mexico: Representacion y Servicios de Ingenieria S.A.
- Box, P. C., & Oppenlander, J. C. (1976). *Manual de Estudios de Ingenieria de Transito*. Mexico: Representaciones y Servicios de Ingenieria S.A.
- Cal y Mayor, R. &. (2007). *Ingenieria de Transito Fundamentos y Aplicaciones*. Mexico: Ifaomega grupo editor, S.A de C.V.
- Callan Stirzaker¹ and Hussein Dia, M. (2007). Evaluation of Transportation Infrastructure Management Strategies Using Microscopic Traffic Simulation. *Journal of Infrastructure Systems* , 168-174.
- Carrignon, D., & Buchanan, C. (2009). Assessment of the impact of cyclists on heterogeneous traffic. *www.tecmagazine.com*, 323-325.
- Centro de Naciones Unidad para el desarrollo Regional UNCRD. (2011). *TRANSPORTE SOSTENIBLE PARA AMERICA LATINA SITUACION ACTUAL Y PERSPECTICA*. Bogota D. C.
- Chanca Cáceres, &. C. (2004). Simulación Microscopica de Trafico Urbano y su Aplicacion en un Area de la Ciudad de Zaragoza. *XXV Jornadas de Automática 2004*. Ciudad Real.
- Coeymans Avaria, J. (1984). ■La simulación en la gestión de tránsito: Limitaciones y perspectivas (Juan Enrique Coeymans). *I Congreso Chileno de Ingenria de Tranporte*, (pág. 219232). Santiago de Chile.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

- D. Robles., P. Ñ. (2009). Urban Traffic Control and Simulation: Literature Review. *Revista Ingeniería, Universidad de los Andes*, pp 59-69.
- DANE. (2005). *Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área 1985-2020*.
- Dellasette, M. (2008). The project planning of the highway network traffic microsimulation tools. *Traffic Microsimulation tools. Politecnico Di Torino*.
- Elbersa, J., & Van Berkuma, E. (2003). The negative effects of homogeneous traffic on merging sections. *Centre for Transport Studies University of Twente, Department of Civil Engineering*.
- Fellendor, M., & Vortisch, P. (2001). Validation of the Microscopic Traffic Flow Model VISSIM in Different Real-World Situations. *Transportation Research Board*.
- Fernández, R. A. (2008). *Elementos de la Teoría del Tráfico Vehicular*. Santiago de Chile: Universidad de los Andes.
- Forenses, I. N. (2012). *Muertes y lesiones por accidentes de transporte, Colombia*. Bogota D.C.
- Gonzalez Calleros, J. M., Rodríguez Gómez, G., & Martínez Carballido, J. (2003). ¿CÓMO MEJORAR EL FLUJO VEHICULAR POR MEDIO DE LA SIMULACION? . Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla, Pue., CP 72000, México.
- Greenberg, H. (1959). An analysis of traffic flow. *Operations Research*, 19-85.
- Hussaina, H., Umarb , R., & Farha, M. (2011). Establishing speed-flow-density relationships for exclusive motorcycle. *Transportation Planning and Technology*, 245-257.
- John Hourdakiss, P. G. (2003). Practical Procedure for Calibrating Microscopic Traffic Simulation Models . *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 130-139.
- Logitrans, I. y. (2010). *Formulación del Plan Maestro de Movilidad del Municipio de Riohacha*. Bogota.
- Maini, P., & Khan, S. (2000). Discharge Characteristics of Heterogeneous Traffic at Signalized Intersections. *In Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity*, 421-444.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MOTOCICLETA EN FLUJOS DE TRÁNSITO HETEROGÉNEO.

- Mallikarjuna Chunchu1, R. R. (2011). MODELLING HETEROGENEOUS TRAFFIC FLOW ON UPGRADES OF INTERCITY ROADS . *Transport*, 129-137.
- Manraj Singh Bainsa, B. P. (2012). Modeling of Traffic Flow on Indian Expressways using Simulation Technique. *sciverse science Direct* , 475-493.
- Radelat, G. (2003). *Principios de Ingeniería de Tránsito*. Washington D.C: ITE-Institute of Transportation Engineers.
- Road Research Laboratory. (1965). *Research on road traffic*. London : London, H.M. Stationery Off.
- Roger p Roess, E. S. (2004). *traffic engineering*.
- Seco, A., & Rebeiro, A. (2002). *resultados del proyecto de investigación de transporte urbano Financiado por la UE*.
- Siachoque, P. j. (2014). *Criterios metodológicos para involucrar el factor moto en os estudios de tránsito en Bogota*. Bogota D.C.
- Tang, T., Huang, H., Zhao, S., & Shang, H. (2009). A new dynamic model for heterogeneous traffic flow. *JOURNAL OF OF TRANSPORTATION ENGINEERING ASCE*, 544-551.
- Todosiev, E. P. (1963). The action point model of the driver-vehicle system. *Engineering Experiment Station, Ohio State University*, 202A-3.
- Transito, M. d. (s.f.). *Manual de Estudios de Ingenieria de Transito*.
- Transportation Research Board, N. R. (2010). *Highway Capacity Manual 2010*. Washington D.C.
- V., T., & P, V. (2009). Simulating Heterogeneous Traffic Flow on Roads with and without Bus Lanes. *JOURNAL OF INFRASTRUCTURE SYSTEMS © ASCE*, 305-312.
- Zachariah Koshy, R., & Thamizh Arasan, V. (2005). Influence of Bus Stops on Flow Characteristics of Mixed Traffic. *JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING © ASCE*, 640-643.
- XI congreso Colombiano de ingeniería de transporte y tránsito

<http://www.uninorte.edu.co/web/educacion-continuada/congreso-transporte>.