

DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LAS MOTOS EN EL FLUJO DE SATURACIÓN EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS DE DOS CARRILES.

ANDRÉS FELIPE SAYAGO ALZATE



UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN

UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
MEDELLÍN – COLOMBIA

2014

DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LAS MOTOS EN EL FLUJO DE SATURACIÓN EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS DE DOS CARRILES.

ANDRÉS FELIPE SAYAGO ALZATE

Tesis de grado para optar al título de Especialista en Vías y Transporte

Director

HUGO CORREA ROLDÁN

Ingeniero Civil



UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN

UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN

FACULTAD DE INGENIERÍA

MEDELLÍN – COLOMBIA

2014

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer profundamente a:

Al profesor Hugo Correa Roldán, por aportar su experiencia y disponibilidad para llevar a cabo el proceso de ejecución de esta investigación.

Al profesor Cesar Hidalgo por ser el asesor metodológico que ayudó a darle forma a este trabajo de grado y ser posible su aprobación.

A la empresa Vías y Tránsito SAS, por la información suministrada y por la prestación de material necesario para realizar las mediciones en campo.

Gracias también a mi familia por el apoyo, a pesar de la distancia, y creer en éste proceso formativo que está por culminar.

A mi novia Ángela María Bello, que siempre estuvo desde el principio de esta investigación, que entendió mis ausencias y siempre estuvo dándome ánimos para culminar este proyecto.

En general a la Universidad de Medellín, que suministró los conocimientos necesarios para llevar a cabo esta tesis de grado.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. JUSTIFICACIÓN	7
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	9
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.3. HIPOTESIS DEL TRABAJO	9
1.4. METODOLOGÍA	10
2. MARCO TEÓRICO.....	11
3. DESARROLLO	20
3.1. FLUJO DE SATURACIÓN MEDIDO EN CAMPO.....	26
3.2. FLUJO DE SATURACIÓN USANDO EL MANUAL HCM 2000.	30
3.3. EFECTO DE LAS MOTOS EN EL FLUJO DE SATURACIÓN	34
3.4. FACTORES DE AJUSTE DEL FLUJO DE SATURACIÓN	34
3.5. PORCENTAJE DE MOTOS VS FACTOR DE AJUSTE.....	38
3.6. VALIDACIÓN DEL MODELO	39
4. APLICACIÓN DEL MODELO.....	43
4.1. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO ADOPTANDO EL FACTOR DE MOTOS DE 0.3.	43
4.2. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	46
4.3. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO CON METODOLOGÍA PROPUESTA.	47
4.4. TABLA PROPUESTA PARA ADOPTAR EL FACTOR DE AJUSTE DEL FLUJO DE SATURACIÓN.....	50
5. CONCLUSIONES.....	52
6. BIBLIOGRAFÍA	53

1. INTRODUCCIÓN

La administración de los municipios del Valle de Aburrá con frecuencia exigen estudios de tránsito donde se evalué la capacidad y niveles de servicio de la infraestructura vial aledaña a un futuro desarrollo; con esto se pretende que los urbanizadores establezcan soluciones a la movilidad de acuerdo con el impacto que las edificaciones generen. Particularmente en las intersecciones.

Entre las diferentes tipos de intersecciones con que cuenta la red vial metropolitana se encuentran las intersecciones a nivel que operan por prelación vial y las intersecciones que operan por control semafórico, siendo esta última en la que se enfocará el presente estudio.

Las intersecciones semaforizadas tienen limitada su capacidad por la cantidad de vehículos que pueden circular por sus accesos durante el tiempo de luz verde, que a su vez depende de la composición del tráfico en los diferentes tipos de vehículos, las características geométricas, entre otros aspectos que se mencionarán más adelante.

El tránsito mixto de vehículos en el área metropolitana del Valle de Aburrá, ha experimentado un crecimiento acelerado de las motos, ya que estas han representado una muy atractiva alternativa de transporte. Lo anterior, debido al precio, a las facilidades en financiación, economía del combustible, agilidad en la movilización, entre otras ventajas con respecto a otros modos de transporte. Este fenómeno además de afectar la capacidad de las intersecciones, trae consigo otras afectaciones a la operación de la red vial, tales como el crecimiento del índice de accidentalidad y contaminación del aire, teniendo en cuenta que aún persiste motocicletas de dos tiempos que vierten a la atmósfera entre 5 y 15 veces más hidrocarburos que las motos de ciclo de cuatro tiempos, según la Resolución 2394 de 2011.

Investigando se han encontrado estudios a nivel local, que tienen que ver con el transporte en motocicleta y su interacción con el tráfico vehicular en el área metropolitana, cuyos estudios son:

- “Determinación del Factor de Equivalencia de la Motocicleta en Vía de 3 Carriles, Flujo Ininterrumpido, Pendiente 0%”. Estudio realizado por un estudiante de maestría de la Universidad de los Andes, que adoptó una metodología para estimar el factor de equivalencia de las motos con respecto al vehículo tipo automóvil bajo condiciones específicas, aplicado en un tramo de vía de la ciudad de Medellín. [1]
- “Carril sólo motos. Secretaria de tránsito y transporte de Medellín, 2008”. Este corresponde a un estudio de viabilidad de una prueba piloto para la

implementación de un carril sólo motos, en una vía de la ciudad, siguiendo lo formulado en el plan maestro de movilidad del Valle de Aburrá. [2]

Como fue descrito anteriormente, el crecimiento del número de motos ha generado síntomas de congestión en las intersecciones viales en el Valle de Aburrá y han alcanzado una participación importante en el flujo vehicular; debido a esta congestión la realización de estudios de tránsito se ha masificado, por lo que es necesario evaluar cómo se están realizando dichos estudios.

Los estudios comentados anteriormente, evalúan la capacidad de las intersecciones comparada con el volumen de tráfico vehicular que circula por dichas intersecciones. Debido a que el flujo vehicular presenta diferentes tipologías de vehículos, es necesario convertirlos en una sola unidad de medida, es decir, homogenizar el volumen vehicular, por lo tanto para llevar a cabo lo comentado, en los últimos años la secretaria de Movilidad de Medellín ha recomendado utilizar factores de equivalencia entre 0.3 y 0.5, para las motos, aplicando éstos son convertidas a vehículos equivalentes tipo automóvil.

Sin embargo, en la práctica, con el desarrollo de estudios de tránsito realizado por consultores de la ciudad, se ha evidenciado que este factor no representa exactamente la realidad que se observa en intersecciones semaforizadas de la región metropolitana. Las motos, debido a su condición de vehículo ágil y liviano, tienden a no seguir la disciplina del carril, ya que no se forman en los accesos de la misma manera que los demás tipos de vehículos motorizados, en el centro del carril, y por el contrario presentan diferentes tipos de comportamiento que tienda aprovechar el mínimo espacio para situarse delante de las colas y entre los carros, donde les sea posible formarse lo más cercano a la línea del control semafórico. Estos tipos de comportamiento serán tratados en detalle en el marco teórico.

Por lo anterior, se realizó esta investigación con el fin de responder al siguiente interrogante ¿es posible encontrar una metodología que obvие el factor de equivalencia y por el contrario permita establecer factores que afecten el flujo de saturación y por consiguiente represente mejor la realidad?

1.1. JUSTIFICACIÓN

Actualmente el crecimiento acelerado de las motos en el Valle de Aburrá es de cerca del 10% anual, según las cifras de la Secretaría de Transportes y Tránsito de Medellín, donde se registró que durante el año 2012 circulaban 537.929 motocicletas, frente a 487.600 durante el 2011. [3] Esto ha conllevado a que sean consideradas y estudiadas por el efecto que tienen estas en el flujo vehicular. (Ver figura 1)

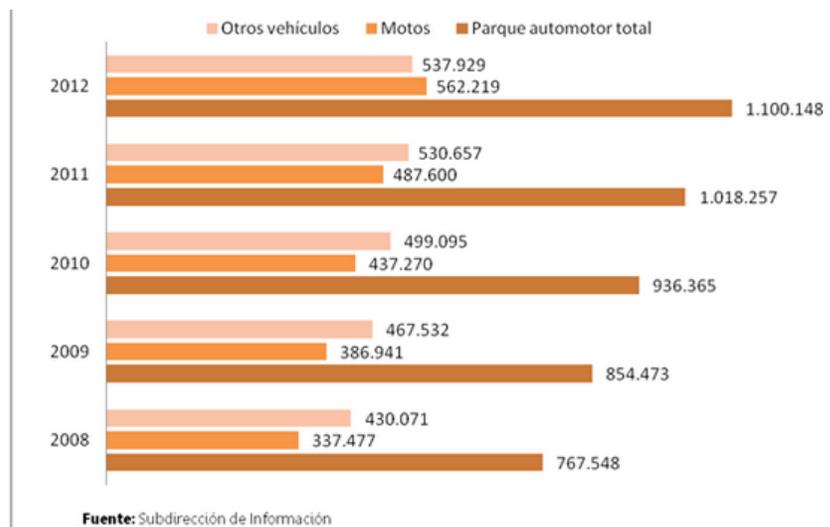


Figura 1. Historial del parque automotor circulante en el área Metropolitana del Valle de Aburrá 2008-2012 [4].

El efecto de este crecimiento se refleja en el tráfico vehicular en una mayor congestión y saturación de las intersecciones viales. Debido a esto y al crecimiento normal del parque automotor del Valle de Aburrá, las administraciones municipales exigen estudios de tránsito para desarrollos de obras civiles tales como proyectos de vivienda, comercio o instituciones, donde se evalúe la capacidad y nivel de servicio de las intersecciones debido al tráfico generado por esos desarrollos. Con esto se busca que el desarrollo de los municipios sea controlado y se establezcan medidas que mitiguen el impacto del desarrollo urbano a la movilidad desde el punto de vista de todos los actores del tránsito.

Por otro lado, el crecimiento del número de motocicletas, de forma indirecta, representa otra problemática a los municipios de la región metropolitana, que tiene que ver con el aumento de la accidentalidad y mortalidad de los usuarios de este modo de transporte, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de los ocupantes frente a otros vehículos motorizados.

En la figura 2, se muestra la vulnerabilidad de este tipo de vehículo frente a los demás actores del tránsito, que como se puede observar las muertes en motocicleta representan un cerca de un 44%.



Figura 2. Distribución de la mortalidad en accidentes de tránsito por tipo de Vehículo. (Fuente: Balance mixto para la seguridad vial en Colombia, Bogotá, febrero 14 de 2013)

Otras cifras de accidentes mortales, por tipo de vehículo.

Tabla 1. Número de muertos en accidentes de tránsito, según usuario y zona de ocurrencia, 2011.

Modo de transporte	Total muertos, año 2011	Total muertos en zona urbana, año 2011	Total muertos en zona rural, año 2011
Motocicleta	2.296	1.445	851
Peatón	1.552	1.230	322
Particular	392	150	242
Bicicleta	324	226	98
Transporte de pasajeros	277	91	186
Transporte de carga	119	29	90
Otro	37	13	24
Total	4.497	3.184	1.813

Fuente: ANUARIO ESTADÍSTICO DE ACCIDENTALIDAD VIAL COLOMBIA 2011, Fondo de Prevención Vial. [4]

En la tabla anterior, se aprecia que de nuevo las motos son el tipo de vehículo que mayormente se ve implicado en accidentes de tránsito, representando un 51% de los accidentes en el año 2011, con respecto al resto de los modos de transporte. Por otro lado, cerca de un 63% de los accidentes en moto registrados durante el año 2011, ocurrió en la zona urbana.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de las motos en el flujo de saturación del carril en intersecciones semaforizadas.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer un marco teórico acerca de la modelación de intersecciones semaforizadas mediante software de microsimulación.
- Determinar el efecto de las motos en el flujo de saturación en diferentes intersecciones semaforizadas de acuerdo con la composición vehicular.
- Proponer una metodología que permita considerar el efecto de las motos en la corriente del tránsito, en intersecciones semaforizadas.
- Evaluar y confrontar los resultados obtenidos de la investigación con respecto a la metodología actual con ayuda de un software de microsimulación.

1.3. HIPOTESIS DEL TRABAJO

Las motos no deberían convertirse en vehículos equivalentes debido a que no siguen la disciplina del carril y no forman filas como lo realizan los otros tipos de vehículos motorizados, esto es, en el centro del carril. Sin embargo, estas pueden afectar el flujo de saturación de un acceso, en las intersecciones semaforizadas.

Adicional a lo anterior, la afectación del flujo de saturación es proporcional al número de motocicletas, es decir, a mayor participación de la motocicleta en la corriente del tránsito menor será el número de autos que pasarán por la sección transversal del carril.

1.4. METODOLOGÍA

En primer lugar, se realizó la revisión bibliográfica de la teoría del tránsito, ilustrada en el marco teórico, para determinar la información necesaria que se deba tomar en campo, para luego desarrollar la investigación propuesta.

Posteriormente, se realizó la toma de información primaria en una intersección semaforizada que cumplía con las condiciones ideales para la medición del flujo de saturación y poseía diferente composición vehicular. En ésta se contabilizó todos los tipos de vehículos durante los tiempos de verde en un acceso, con el procedimiento de medición del flujo de saturación en campo, descrito en el marco teórico.

Para la selección de la intersección aforada se consideró que mínimo uno de sus accesos tuviese dos carriles de circulación, que se presentara formación de filas de motos entre los carros, pendientes suaves, control semafórico, entre otros factores que pudieran suponer que el flujo de saturación sea próximo a 1800vehículos/hora.

Luego estos resultados fueron criticados y analizados, con ayuda de herramientas tecnológicas como los software comentados en el marco teórico, con lo que pudo establecer patrones de comportamiento del flujo de saturación, según el volumen vehicular de cada tipo de vehículo, lo que permitió obtener una correlación entre las diferentes variables.

Finalmente se estableció una metodología con los resultados obtenidos de esta investigación, con la cual se analizó un caso concreto con el fin de confrontar los resultados con la metodología actual y la metodología propuesta, para luego comparar los resultados con la realidad, lo que conllevará a determinar la eficacia de los resultados obtenidos de la investigación.

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describirá brevemente la metodología propuesta para el desarrollo de esta investigación, consignada en el manual americano HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2000), para el cálculo de la capacidad y nivel de servicio de intersecciones viales, haciendo énfasis en los insumos para dicho cálculo y los software que son comúnmente utilizados para simular dichas intersecciones, que permiten obtener resultados de forma ágil y eficiente.

En primer lugar, es necesario definir algunos conceptos importantes tales como la capacidad de una intersección, que hace referencia al número de vehículos que pueden atravesar por un acceso de una intersección, dado en vehículos / hora.

Por otro lado, los niveles de servicio es una calificación que mide cualitativamente las condiciones de operación dentro de un sistema de tránsito, y como los conductores y los pasajeros perciben estas condiciones. [5]

Los niveles de servicio están relacionados con las características físicas y de operación de las intersecciones semaforizadas. En estas intersecciones la demora es un elemento de control, pues determina el tiempo de viaje perdido, el consumo de combustible, la frustración y la incomodidad de los conductores. Por lo anterior, los niveles de servicio son determinados por este parámetro, el cual incluye la demora debido a la desaceleración, el tiempo de avance de la fila, el tiempo de parada y al movimiento de la aceleración.

La metodología de análisis de capacidad y nivel de servicio de una intersección, requiere de insumos propios de la intersección a evaluar, que son enunciados a continuación.

- LAS CONDICIONES GEOMÉTRICAS, tales como: tipo de área, número de carriles, ancho de carriles, pendientes de accesos, existencia de carriles exclusivos para giros a la izquierda o derecha, longitud de los carriles de giro y condiciones de estacionamiento. [6]
- LAS CONDICIONES DE TRÁNSITO, esto es: volúmenes por movimiento izquierdo, derecha y de frente, durante las horas pico, y porcentaje de vehículos pesados. [6]

Los volúmenes anteriormente mencionados, se toman a partir de diferentes metodologías, que varían desde conteos manuales hasta conteos automáticos, algunas de estas metodologías son: conteos manuales realizados por personas en el sitio de la intersección, grabación de videos,

instalación de instrumentos como sensores y equipos neumáticos que reconocen el paso de diferentes tipos de vehículos.

Las mediciones de volúmenes vehiculares se toman usualmente en periodos de 8 a 12 horas, divididos en dos periodos uno en la mañana y otro en la tarde, de tal forma que estos contengan los periodos estimados como picos.

Para la aplicación de la metodología del HCM, se requiere el volumen vehicular en la hora pico, ya sea la hora pico a.m. o la hora pico p.m.. Estos valores se obtienen sumando cuatro cuartos seguidos para el periodo pico a.m. y p.m., luego para cada período se toma el mayor valor de dicha suma.

Adicionalmente, estos volúmenes deben ser llevados a vehículos equivalentes con el fin de homogenizar el flujo vehicular cuya unidad de medida de vehículos equivalentes es p.c.u (siglas en inglés Passenger Car Unit). Para el caso de la ciudad de Medellín, la secretaria de Movilidad de dicha ciudad ha propuesto los siguientes factores que permiten convertir el flujo mixto en p.c.u.:

Autos: 1.0
Motos: 0.3
Buses: 2.2
Camión: 2.5

- **CONDICIONES DE CONTROL DEL TRÁNSITO**, se refiere al tipo de control que se instala en la intersección, que varían desde señales de “CEDA EL PASO” y “PARE”, que controlan el derecho de paso, estableciendo la prelación a la vía de mayor jerarquía. Otro control del tránsito son los semáforos vehiculares, que separan temporalmente los flujos de vehículos en una intersección, por medio de señales visuales que se instalan en cada acceso del cruce vehicular. Estas señales son “luz verde”; que indica el instante en que los vehículos deben ponerse en marcha, “luz amarilla”; indica el cambio de luz verde a luz roja, por lo tanto los vehículos deben tener precaución para cruzar o detenerse si se encuentra alejado de la línea del semáforo. Por último, la “luz roja” indica que es obligatorio la detención del vehículo para que el otro acceso inicie la marcha o de el paso a peatones.

Con respecto al control semafórico, cada señal de color posee un tiempo de duración, que en su conjunto hacen parte de un ciclo repetitivo conocido como “ciclo semafórico”, este es medido en segundos.

Luego de establecer las condiciones anteriormente comentadas, se realiza el análisis de la capacidad de la intersección con la metodología del HCM.

En primer lugar se debe determinar el flujo de saturación, que corresponde a la máxima tasa de flujo que puede atravesar la intersección desde un acceso, bajo las condiciones prevalecientes de tránsito y de la vía, durante una hora de la señal de luz verde, el flujo de saturación está dado en unidades de vehículos/ hora/ carril [5].

El flujo de saturación puede obtenerse por medio de una ecuación o puede ser medido en campo. Para el primer caso, se utiliza la siguiente ecuación, tomada del HCM, ilustrada en la figura 3.

Determinación de la tasa de flujo de saturación

$$s_i = s_o (N)(f_W)(f_{HV})(f_g)(f_p)(f_{bb})(f_a)(f_{LU})(f_{LT})(f_{RT})(f_{Lpb})(f_{Rpb})$$

Donde:

s_i = tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/ hora verde)

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

N = número de carriles del grupo de carriles

f_W = factor de ajustes por ancho de carriles

f_{HV} = factor de ajuste por vehículos pesados

f_g = factor de ajuste por pendiente de acceso

f_p = factor de ajuste por estacionamiento

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

f_a = factores de ajuste por tipo de área

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

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

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

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

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

Figura 3. Definición de factores de ajuste para la determinación del flujo de saturación. (Fuente: HCM 2000)

En la siguiente figura, se ilustra las ecuaciones para calcular cada factor de ajuste.

FACTOR	FORMULA	DEFINICIÓN DE VARIABLES	NOTAS
ancho de carril	$f_w = 1 + \frac{w-3.6}{9}$	W= ancho de carril (m)	W≥2.4m Si W ≥4.8m, analizar como dos carriles
vehículos pesados	$f_{HV} = \frac{100}{100+\%HV(E_t-1)}$	%HV=porcentaje de vehículos pesados por grupo	$E_t = 2.4$ autos/pesado
pendiente	$f_g = 1 - \frac{\%G}{200}$	%G=porcentaje de pendiente del acceso	-6≤%G≤+10 Negativa en descensos
estacionamiento	$f_p = \frac{N-0.1-\frac{18N_m}{3600}}{N}$	N= número de carriles del grupo N _m = número de maniobras de estacionamiento/h.	0≤N _m ≤180 f _p ≥0.050 f _p =1.000 para sin estacionamiento
bloqueo de buses	$f_{bb} = \frac{N-\frac{14.4N_B}{3600}}{N}$	N= número de carriles del grupo N _B = número de buses que paran por hora.	0≤N _B ≤250 f _{bb} ≥0.050
tipo de área	f _a = 0.900 en CBD f _a = 1.000 en otras áreas	CBD=distrito central de negocios (centro de la ciudad)	
utilización de carriles	$f_{LU} = \frac{V_g}{V_{g1}N}$	V _g =tasa de flujo de demanda no ajustada del grupo de carriles (veh/H) V _{g1} = tasa de flujo de demanda no ajustada del carril con el volumen más alto dl grupo N= número de carriles del grupo	
vuelatas a la izquierda	Fase protegida: Carril exclusivo: f _{LT} = 0.95 Carril compartido: $f_{LT} = \frac{1}{1.0+0.05P_{LT}}$	P _{LT} = proporción de vuelatas a la izquierda en el grupo de carriles	
vuelatas a la derecha	Carril exclusivo: f _{RT} = 0.85 Carril compartido: f _{RT} = 1.0 - 0.15 P _{RT} Carril simple: f _{RT} = 1.0 - 0.135 P _{RT}	P _{RT} =proporción de vuelatas a la derecha en el grupo de carriles	f _{RT} ≥0.050
bloqueo por peatones y bicicletas	Ajuste: LT f _{LPb} = 1.0 - P _{LT} (1 - A _{pbt})(1 - P _{LTA}) Ajuste: RT f _{RPb} = 1.0 - P _{RT} (1 - A _{pbt})(1 - P _{RTA})	P _{LT} = proporción de vuelatas a la izquierda en el grupo de carriles A _{pbt} =ajuste a la fase permitida P _{LTA} = proporción de vuelatas a la izquierda que usan la fase protegida P _{RT} = proporción de vuelatas a la derecha en el grupo de carriles P _{RTA} =proporción de vuelatas a la derecha que usan la fase protegida	Refiérase al apéndice D del capítulo 16 del HCM 2000 para el cálculo paso a paso de los factores de ajuste

Figura 4. Ecuaciones para el cálculo de los factores de ajuste para la determinación del flujo de saturación.
(Fuente: HCM 2000) [7]

Para obtener el flujo de saturación en campo, se utiliza la ecuación (1), propuesta por el HCM 2000, descrita a continuación:

$$S = \frac{3600}{(t_4 - t_n)/(n-4)} \quad (1)$$

S: Flujo de Saturación medido en campo (Veh/hora/carril)

t₄: Instante en que el eje trasero del cuarto vehículo cruza el punto de referencia. Según el manual HCM, después del cuarto vehículo los autos alcanzan la velocidad normal de marcha, por lo tanto en este instante pasa el mayor número de vehículos posibles en el acceso.

t_n : Instante en el que el eje trasero del último vehículo de la fila al inicio de la luz verde, cruza el mismo punto de referencia.

n : número de vehículos en fila, mayor a 7 vehículos. [5]

Por lo general en estudios llevados a cabo en la ciudad de Medellín se ha utilizado el valor de 1,800 (Veh/hora/carril), valor adoptado bajo condiciones ideales de 0% de pendiente, sin vehículos estacionados, sin vehículos girando a la izquierda y giros a la derecha en un máximo del 10% del tráfico total. [6]

Este valor es ajustado de acuerdo con las condiciones prevalecientes de la intersección evaluada. Obviamente las medidas en el campo producen mejores resultados. Las mediciones en campo se realizan adoptando la metodología expuesta anteriormente.

Luego de obtener el flujo de saturación, ya sea el valor teórico o el valor obtenido en campo, adoptando para ambos la metodología del HCM 2000, se realiza el análisis de la capacidad de la intersección semaforizada a partir de la siguiente ecuación:

$$C_i = S_i \frac{g_i}{C} \quad (2)$$

Donde,

C_i : Capacidad del grupo de carriles del acceso i (veh/h)

S_i : Flujo de saturación por el grupo de carriles (veh/h)

C : Ciclo semafórico (segundos)

$\frac{g_i}{C}$: Proporción del verde efectivo por el grupo de carriles i .

Otro aspecto que se evalúa es el grado de saturación de la intersección, dada por la proporción entre el volumen que circula por el grupo de carriles del acceso y la capacidad del acceso de la intersección, el grado de saturación está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Grado de saturación} = V_i/C_i \quad (3)$$

Donde,

V_i : Volumen que circula en el acceso i (veh/h)

C_i : Capacidad del acceso i (veh/h)

Un grado de saturación superior al 0.85, indica que se estaría presentando síntomas de congestión en el acceso analizado.

Por otro lado, la metodología del HCM 2000, permite establecer los niveles de servicio de una intersección semaforizada.

Como fue descrito anteriormente, estos niveles de servicio dependen exclusivamente de la demora media por vehículo, en segundos, que experimentan los usuarios en cada acceso de la intersección.

Los niveles de servicio descritos en el manual americano son:

- Nivel de servicio A: Describe el nivel de operación para el cual, la demora promedio por vehículo es de 10.0 segundos o menor. Para este nivel de servicio, los vehículos llegan principalmente durante la fase de luz verde, lo que conduce a que unos cuantos vehículos se detienen en la intersección. La duración del ciclo semafórico son cortas.
- Nivel de servicio B: Describe el nivel de operación para el cual, la demora por vehículo es mayor a 10 segundos pero no mayor a 20 segundos. Para el nivel de servicio B, el número de vehículos que se detienen en la intersección es mayor que para el nivel de servicio A, pero el avance todavía es aceptable y la duración del ciclo puede ser corta.
- Nivel de servicio C: Describe el nivel de servicio para el cual, la demora por vehículo es mayor que 20 segundos y hasta 35 segundos. Para el nivel de servicio C, muchos vehículos cruzan la intersección sin detenerse, pero un número apreciable de ellos se detienen. Además, algunos vehículos en uno de los accesos no saldrán de la intersección durante el primer ciclo (falla del ciclo). La mayor duración de la demora, puede deberse al número apreciable de vehículos que llegan durante la fase de luz roja (falle en el avance), a las duraciones relativamente largas del ciclo o ambas.
- Nivel de servicio D: Describe el nivel de servicio para el cual, la demora por vehículo es mayor a 35 segundos pero no mayor a 55 segundos. Para el nivel de servicio D, se detienen más vehículos en la intersección, lo que conduce a una demora de mayor duración, Ahora ya se nota el número de ciclos individuales que fallan. El periodo más prolongado de este nivel de servicio, se debe a una combinación de dos o más de varios factores, que incluyen las duraciones largas de los ciclos, las razones (volumen/capacidad) altas, y un avance desfavorable.
- Nivel de servicio E: Describe operaciones de control de demora mayores que 55 seg. pero menores que 80 seg. por vehículo. Este nivel es

considerado por muchas agencias como el límite de demora aceptable, estos altos valores de demora generalmente indican mala progresión, duración de ciclos largos y altas relaciones volumen/capacidad. Fallos del ciclo son frecuentes de ocurrencia.

- Nivel de servicio F: Describe el nivel de servicio para el cual, la demora por vehículo es mayor que 80 segundos, esta demora prolongada generalmente es inaceptable para la mayoría de los conductores. Para el nivel de servicio F, con frecuencia se presenta la sobre saturación, es decir, las tasas de flujo de llegada son mayores que la capacidad de la intersección. También puede presentarse una demora prolongada como resultado de un avance deficiente y de duraciones prolongadas de ciclo. Observe que puede presentarse este nivel de servicio cuando los accesos tienen relaciones (volumen/capacidad) elevadas, que sean menores que 1,00, pero también presentan muchas fallas de ciclo individuales. [5]

Actualmente existen diferentes tipos de software que permiten evaluar las condiciones de movilidad y transporte de un determinado sitio, que van desde un ámbito macroscópico hasta microscópico.

Los software de carácter macroscópicos permiten estimar demandas y evaluar eficiencias de sistemas de transporte de una ciudad, cuyo insumo principal son las encuestas origen – destino que se realiza tomando una muestra representativa de la ciudad. En estas encuestas se indaga a la población de determinada ciudad sobre la costumbre de viajes que realiza cotidianamente, esto es, acerca del origen, el destino, el modo de transporte a utilizar, frecuencia con que viaja, motivo de viaje, entre otros aspectos que permiten conocer las preferencias de los habitantes encuestados. Luego las respuestas obtenidas se ingresan al software y por medio de métodos numéricos permiten tomar decisiones de planeación de la ciudad.

Por otro lado, el software de microsimulación, permite evaluar un sitio exacto de la ciudad, como intersecciones tanto a prelación como semaforizadas, cuyo objetivo es reflejar de manera matemática todos los componentes de una intersección y la interacción entre estos, con el fin de representar lo que acontece en la realidad.

Estos componentes son:

- Vehículos
- Infraestructura
- Usuarios
- Ambiente

Luego, después de establecer un modelo es posible evaluar una intersección en cuanto a la capacidad y nivel de servicio, que servirá de línea base para tomar decisiones a futuro con respecto a la operación de dicha intersección.

Entre estos tipos de software se encuentran en el mercado el SIDRA INTERSECTION y el PTV VISSIM, que serán descritos a continuación.

SIDRA INTERSECTION: Es una herramienta de evaluación del tráfico microscópica avanzada, que emplea modelos de manejo carril por carril, por medio de un proceso iterativo de aproximación para estimar estadísticas de la capacidad y operación de la intersección [8]. El modelo debe ser calibrado de acuerdo con las condiciones locales de la intersección a evaluar.

En este software el insumo principal son los volúmenes vehiculares, los cuales deben ser ingresados en vehículos equivalentes, esto es, el flujo vehicular debe ser homogenizado utilizando los factores de equivalencia, de cada tipo de vehículo del flujo vehicular con respecto al vehículo tipo automóvil. Cabe aclarar que este software sólo permite analizar intersecciones aisladas.

PTV VISSIM: Se trata de una herramienta de simulación microscópica para modelos de flujo de tránsito multimodal y proporciona las condiciones ideales para probar diferentes escenarios de tránsito de una forma realista y muy detallada antes de la implementación final.

Este software se aplica para el diseño y valoración de intersecciones, análisis en toda la red de tránsito y calidad ambiental, estudios de ingeniería de tránsito: estas son sólo tres de las múltiples tareas que se pueden llevar a cabo con PTV VISSIM [9].

Además, este permite analizar una red de intersecciones e ingresar el volumen vehicular por tipo de vehículo, a diferencia del SIDRA INTERSECTION que se debe ingresar por vehículos equivalentes.

Para la validación de modelos de tráfico y transporte es usual la utilización de una ecuación para comparar dos conjuntos de volúmenes de tráfico, denominada ecuación de GEH. La fórmula GEH recibe el nombre de Geoffrey E. Havers, quien lo propuso en la década de 1970 mientras trabajaba como un planificador de transporte en Londres, Inglaterra. Aunque su forma matemática es similar a una chi-cuadrado de prueba, no es una verdadera prueba estadística. Más bien, es una fórmula empírica que ha demostrado ser útil para una variedad de propósitos de análisis de tráfico.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)}{M+C}} \quad (4)$$

Donde:

M: Valor obtenido del modelo

C: Valor obtenido en campo

De acuerdo con los planteamientos teóricos del estadístico utilizado se sugiere los siguientes criterios:

Un GEH de menos de 5,0 se considera una buena correspondencia entre los valores observados y los valores modelados, GEH en el rango de 5,0 a 10,0 puede justificar una investigación. Si el GEH es superior a 10,0, existe una alta probabilidad de que existe un problema con el modelo de demanda de viajes o los datos (esto podría ser algo tan simple como un error de entrada de datos, o tan complicado como un problema de modelo de calibración grave). [10]

3. DESARROLLO

Como intersección candidata, se ha escogido la intersección conformada por la calle 37B y la Diagonal 40, ubicada en el municipio de Itagüí, en el cual por medio de una inspección de campo, se ha identificado gran afluencia de motocicletas y condiciones geométricas favorables para la circulación vehicular. En esta intersección se realizaron mediciones en diferentes horas del día, donde la participación de las motocicletas, en el volumen vehicular, varió notablemente.

Se obtuvieron mediciones en diferentes escenarios de tiempo con las mismas condiciones geométricas, consiguiendo que los resultados no se vieran afectados por condiciones ajenas al tráfico vehicular.

En las Figuras 5,6 y 7 se ilustra la ubicación y características de la intersección analizada.



Figura 5. Localización de la intersección de la calle 37B con Diagonal 40. (Fuente: Google Earth).



Figura 6. Intersección de la calle 37B con Diagonal 40, vista desde el acceso noroccidente hacia el suroriente. (Fuente: Google Earth).



Figura 7. Intersección de la calle 37B con Diagonal 40, vista desde el acceso suroriente hacia el noroccidente. (Fuente: Google Earth).

La intersección analizada posee cuatro (4) accesos, cada uno de ellos con control semafórico, por lo tanto la intersección en su conjunto está configurada con cuatro (4) fases semafóricas, una para cada acceso.

La calle 37B es una vía en doble calzada, con dos carriles por sentido de circulación, con separador central. Por su parte, la vía que la atraviesa, la diagonal 40, posee dos carriles uno por cada sentido de circulación.

Debido a que en las vías en doble calzada es más evidente el comportamiento desigual de las motos frente a los otros tipos de vehículos, por los mayores espacios generados entre las filas de los autos, se instalaron tres aforadores equipados con cronometro y planillas, en las cuales registraban el tránsito por el acceso suroriente de la intersección.

Uno de los tres aforadores, contabilizó las motos en dicho acceso, separando las motos que pasan por la intersección antes del cuarto vehículo, luego a partir de éste contabilizó las motos que circularon durante el tiempo que el último vehículo de la fila paso la línea del semáforo. Este aforador diligenció el formato mostrado en la figura 8.

Los otros dos aforadores fueron ubicados en los dos carriles, uno por cada carril, en los cuales registraron el tiempo que duraba el cuarto vehículo en cruzar con su llanta trasera la línea del semáforo. Además, registraron el tiempo que gastaba el último vehículo de la fila (mínimo siete (7) vehículos en fila) hasta cruzar de igual forma con la llanta trasera la línea de semáforo. Estos dos aforadores diligenciaron el formato mostrado en la figura 9.

Durante el proceso de toma de información las condiciones climáticas fueron favorables, con predominio de tiempo seco.

Los conteos se realizaron en dos periodos, entre las 6:30 y 10:00 horas en la mañana, y en la tarde entre las 17:30 y las 19:00 horas. En dichos periodos se considera que se encuentra la hora pico del sistema vial, tanto en la mañana como en la tarde.

Los vehículos tipo camiones y buses, fueron multiplicados por dos, debido a su tamaño y ocupación en la fila, para determinar en campo de forma ágil el número de vehículos en fila. Los resultados de los aforos se ilustran en el Anexo 1.

A continuación se ilustrarán algunos resultados obtenidos de las mediciones que darán un indicio del comportamiento del tráfico en esta intersección.

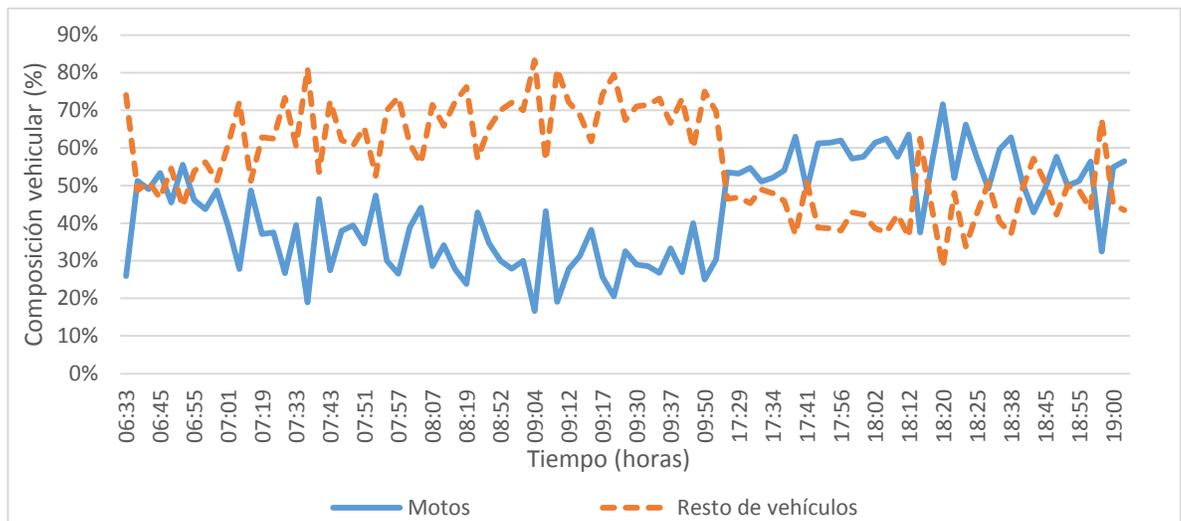


Figura 10. Variación de la composición de motos con respecto a los demás vehículos durante el periodo aforado.

De la figura 10, se puede observar lo mencionado anteriormente, donde se aprecia que durante el periodo aforado en la mañana el porcentaje de autos fue superior al de la motos, mientras que durante la tarde ocurre el comportamiento contrario, pero en menor proporción.

Por otro lado, debido a la forma de cómo se registraron las motos durante la fase semafórica, se obtiene el siguiente gráfico ilustrado en la Figura 11.

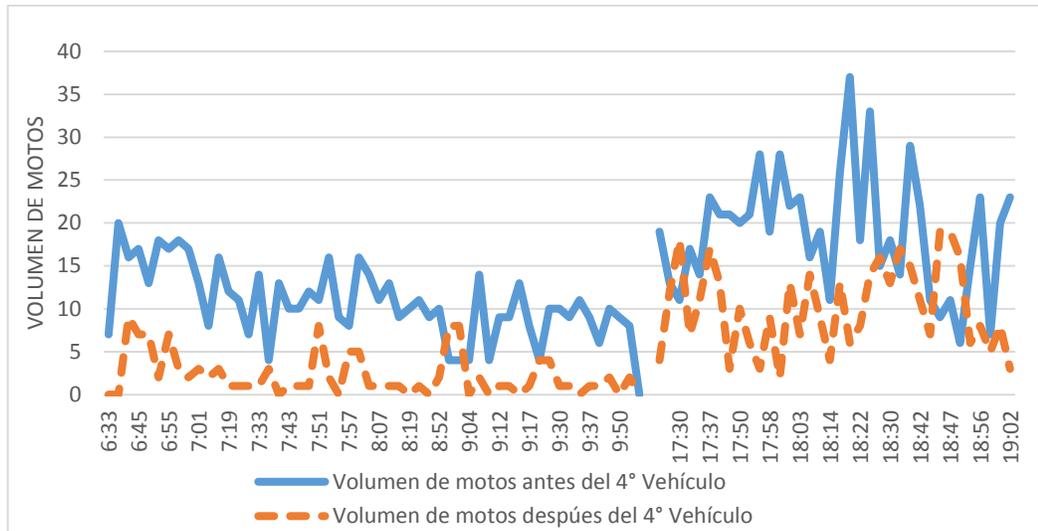


Figura 11. Volumen de motos por fase semafórica.

De la figura anterior, se observa que la mayor parte del volumen de motos que atraviesa la intersección, lo hace antes de que cruce el 4° vehículo, tanto en la mañana como en la tarde.

De lo anterior, se puede inferir que el principal efecto de las motos ocurre en los primeros segundos de la fase de verde, ocasionando un retraso en el cruce de la intersección para los demás vehículos.

3.1. FLUJO DE SATURACIÓN MEDIDO EN CAMPO.

Teniendo en cuenta el resultado del conteo de motos, se concluye que para estimar el efecto real de las motos cuando se ubican al inicio de la fila y entre los carros, se debe medir el flujo de saturación desde que inicia el tiempo de verde y no como se describió en el marco teórico, después de que pasa el 4° vehículo. Por lo tanto, la ecuación para el cálculo del flujo de saturación utilizada es la siguiente:

$$S = \frac{3600}{(t_n)/(n)} \tag{5}$$

Donde:

S: Flujo de saturación

tn: Tiempo que tarde el eje trasero del vehículo ubicado en la posición n de la fila, en cruzar la línea de semáforo.

n: Posición del último vehículo de la fila (mínimo 7 vehículos en fila); en esta variable no fueron consideradas las motos y los vehículos tipo bus y camión son llevados a tipo autos, con un factor de 2.0 para mayor facilidad en campo.

Cabe aclarar que en la estimación del flujo de saturación en campo, fueron descartadas las motos, por no seguir la disciplina del carril.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 2. Resultados del cálculo del flujo de saturación medido en campo de toda la calzada.

Hora	Volumen total calzada autos	Volumen motos antes del 4° vehículo	Volumen motos después del 4° vehículo	Volumen total calzada motos	Flujo de saturación calzada	% moto	% autos
6:33	20	7	0	7	3281	26%	74%
6:37	19	20	0	20	2778	51%	49%
6:43	26	16	9	25	2775	49%	51%
6:45	21	17	7	24	2800	53%	47%
6:47	24	13	7	20	2836	45%	55%
6:51	16	18	2	20	2909	56%	44%
6:55	28	17	7	24	3007	46%	54%
6:57	27	18	3	21	3047	44%	56%
6:59	20	17	2	19	2660	49%	51%
7:01	25	13	3	16	3328	39%	61%
7:05	26	8	2	10	2939	28%	72%
7:13	20	16	3	19	2624	49%	51%
7:19	22	12	1	13	3239	37%	63%
7:25	20	11	1	12	2718	38%	63%
7:29	22	7	1	8	2950	27%	73%
7:33	23	14	1	15	3195	39%	61%
7:35	30	4	3	7	3135	19%	81%
7:39	15	13	0	13	2523	46%	54%
7:43	29	10	1	11	3106	28%	73%
7:45	18	10	1	11	3055	38%	62%
7:47	20	12	1	13	2926	39%	61%
7:51	36	11	8	19	2760	35%	65%
7:53	20	16	2	18	3173	47%	53%
7:55	21	9	0	9	3005	30%	70%
7:57	36	8	5	13	2987	27%	73%
7:59	33	16	5	21	3204	39%	61%
8:05	19	14	1	15	2807	44%	56%

Hora	Volumen total calzada autos	Volumen motos antes del 4° vehículo	Volumen motos después del 4° vehículo	Volumen total calzada motos	Flujo de saturación calzada	% moto	% autos
8:07	30	11	1	12	2997	29%	71%
8:09	27	13	1	14	3359	34%	66%
8:17	26	9	1	10	3324	28%	72%
8:19	32	10	0	10	3132	24%	76%
8:21	16	11	1	12	2735	43%	57%
8:52	28	10	2	12	2834	30%	70%
8:53	31	4	8	12	3150	28%	72%
8:59	28	4	8	12	3182	30%	70%
9:04	20	4	0	4	3357	17%	83%
9:06	21	14	2	16	2616	43%	57%
9:12	26	9	1	10	3135	28%	72%
9:13	22	9	1	10	2799	31%	69%
9:15	21	13	0	13	3001	38%	62%
9:17	26	8	1	9	2859	26%	74%
9:23	31	4	4	8	3068	21%	79%
9:28	29	10	4	14	3172	33%	67%
9:30	27	10	1	11	3152	29%	71%
9:32	25	9	1	10	3448	29%	71%
9:34	30	11	0	11	3507	27%	73%
9:37	20	9	1	10	3039	33%	67%
9:46	19	6	1	7	3162	27%	73%
9:48	18	10	2	12	2911	40%	60%
9:50	27	9	0	9	3157	25%	75%
9:56	23	8	2	10	3242	30%	70%
17:25	20	19	4	23	2880	53%	47%
17:29	22	13	12	25	3057	53%	47%
17:30	24	11	18	29	2742	55%	45%
17:32	23	17	7	24	2723	51%	49%
17:34	23	14	11	25	3193	52%	48%
17:37	34	23	17	40	2976	54%	46%
17:39	20	21	13	34	2454	63%	37%
17:41	25	21	3	24	3007	49%	51%
17:50	19	20	10	30	2810	61%	39%
17:52	17	21	6	27	3068	61%	39%

Hora	Volumen total calzada autos	Volumen motos antes del 4° vehículo	Volumen motos después del 4° vehículo	Volumen total calzada motos	Flujo de saturación calzada	% moto	% autos
17:56	19	28	3	31	2653	62%	38%
17:58	21	19	9	28	2817	57%	43%
18:00	22	28	2	30	2690	58%	42%
18:02	22	22	13	35	2387	61%	39%
18:03	18	23	7	30	2784	63%	38%
18:07	22	16	14	30	2468	58%	42%
18:12	16	19	9	28	2535	64%	36%
18:14	25	11	4	15	2892	38%	63%
18:16	31	26	13	39	2831	56%	44%
18:20	17	37	6	43	2237	72%	28%
18:22	24	18	8	26	2751	52%	48%
18:24	24	33	14	47	2632	66%	34%
18:25	23	15	16	31	2440	57%	43%
18:32	21	14	17	31	2899	60%	40%
18:38	26	29	15	44	2641	63%	37%
18:42	32	22	11	33	2805	51%	49%
18:44	24	11	7	18	3175	43%	57%
18:45	29	9	19	28	3020	49%	51%
18:47	22	11	19	30	2767	58%	42%
18:51	22	6	16	22	2623	50%	50%
18:55	20	15	6	21	2953	51%	49%
18:56	24	23	8	31	2509	56%	44%
18:58	25	7	5	12	3145	32%	68%
19:00	23	20	8	28	3068	55%	45%

3.2. FLUJO DE SATURACIÓN USANDO EL MANUAL HCM 2000.

Luego de calcular el flujo de saturación en campo, se sirve de la metodología del manual del HCM 2000, consignada en el marco teórico, para establecer teóricamente el flujo de saturación de acuerdo con las condiciones geométricas.

La metodología del Manual HCM 2000, consiste en partir de un flujo de saturación bajo condiciones ideales, para luego afectarlo por medio de factores de ajuste que representen las condiciones reales que actúan en la intersección analizada. La ecuación de ajuste es la siguiente:

$$S_i = S_o N F_w F_{HV} F_g F_p F_{bb} F_a F_{LU} F_{LT} F_{RT} F_{Lpb} F_{Rpb} \quad (6)$$

Donde:

S₀: Flujo de saturación inicial, bajo condiciones ideales = 1900Veh/h/carril

N: número de carriles

- Factor por ancho de carril:

$$F_W = 1 + \frac{(W-3.6)}{9} \quad (7)$$

W: Ancho de carril = 3.5m

$$F_W = 1 + \frac{(3.5 - 3.6)}{9} = 0.989$$

- Factor por vehículos pesados:

$$F_{HV} = \frac{100}{(100 + \%HV(E_T - 1))} \quad (8)$$

%HV: Porcentaje de vehículos pesados tomado de la información secundaria de aforo de la intersección analizada, realizado por la empresa Vía y Tránsito SAS, cuyo resultado se puede observar en el anexo 2.

E_T: Factor de equivalencia en vehículos livianos = 2.5 p.c.u

$$F_{HV} = \frac{100}{(100 + \%6(2.5 - 1))} = \mathbf{0.917}$$

- Factor de ajuste por pendiente de acceso

$$F_g = 1 + \frac{\%G}{200} \tag{9}$$

%G: En promedio la pendiente del acceso es del 4%

$$F_g = 1 + \frac{4\%}{200} = \mathbf{0.98}$$

- Factor de ajuste por estacionamiento

$$F_p = \frac{(N - 0.1 - \frac{18 Nm}{3600})}{N} \tag{10}$$

N: Número de carriles del acceso = 2 carriles

Nm: Número que se estacionan por hora (0 vehículos)

$$F_p = \frac{(2 - 0.1 - \frac{18 * 0}{3600})}{2} = \mathbf{0.95}$$

- Factor de ajuste por parada de buses

$$F_{bb} = \frac{(N - \frac{14.4 Nb}{3600})}{N} \tag{11}$$

1

N: Número de carriles del acceso = 2 carriles

Nb: Número de parada de buses (0 vehículos)

$$F_{bb} = \frac{(2 - \frac{14.4 * 0}{3600})}{2} = \mathbf{1.0}$$

- Factor de ajuste por tipo de área

$$F_a = \mathbf{1.0}$$

- Factor de ajuste por utilización del carril

$$F_{LU} = \frac{Vg}{(Vg1*N)} \quad (12)$$

N: Número de carriles del acceso = 2 carriles

Vg : Volumen total en el acceso por hora (Veh/h)

$Vg1$: Volumen en un solo carril (Veh/h)

Durante el aforo se observa que el uso de carril puede tomarse en la misma proporción, por lo tanto se toma el valor de 1.0.

- Factor de ajuste por giro a la izquierda (F_{LT})

Como el acceso analizado no tiene permitido el giro izquierdo, el factor de ajuste es igual a 1.

- Factor de ajuste por giro a la derecha (F_{RT})

Tomando la ecuación para carriles compartidos:

$$F_{RT} = 1.0 - (0.15)P_{RT} \quad (13)$$

Donde:

P_{RT} : Proporción de vueltas a la derecha del acceso: Calculando la proporción entre el total del volumen aforado que sigue de frente y el que gira hacia la derecha, en el acceso Suroriente de la intersección, tomado de la información secundaria proporcionada por la empresa Vías y Tránsito SAS, del anexo 2.

$$P_{RT} = 1636 \text{ veh}/9024 \text{ veh} = 0.18$$

$$F_{RT} = 1.0 - (0.15) * 0.18 = \mathbf{0.973}$$

En la figura 12 se ilustra la distribución de los volúmenes de cada maniobra.



Figura 12. Distribución del volumen por maniobra en el acceso aforado. (Fuente: Creación Propia).

- Factor de ajuste por bloqueo de peatones y bicicletas para giros a la izquierda (FLpb) y a la derecha. (FRpb).
Ambos factores fueron tomados como la unidad, debido a que la afluencia de peatones no es tal que pueda afectar el flujo de saturación, ya que posee fase exclusiva.

Calculados todos los factores son reemplazados en la ecuación (6) del cálculo del flujo de saturación:

$$S_i = 1900 * (2) * (0.989) * (0.917) * (0.98) * (0.95) * (1.0) * (1.0) * (1.0) * (1.0) * (0.973) * (1.0) * (1.0)$$

$$= 3121 \text{ veh/hora / calzada}$$

3.3. EFECTO DE LAS MOTOS EN EL FLUJO DE SATURACIÓN

Para establecer el efecto de las motos en el flujo de saturación, se establecerá una metodología que permita relacionar el porcentaje de motos en el flujo vehicular con respecto al flujo de saturación, esto para intersecciones semafóricas con accesos de dos carriles.

La metodología propuesta en esta investigación, consiste en relacionar el flujo de saturación teórico, calculado con la metodología del HCM 2000, con el flujo de saturación medido en campo, obteniendo para cada medición factores que serán ligados al porcentaje de motos en la composición vehicular, por medio de regresiones lineales y correlación.

Con lo anterior se buscará obtener un modelo para las condiciones del tránsito del área metropolitana del Valle de Aburrá, que sea práctico y considere el comportamiento diferenciado de las motos en el flujo vehicular.

3.4. FACTORES DE AJUSTE DEL FLUJO DE SATURACIÓN

Tomando como flujo de saturación teórico el calculado en el numeral 3.2 (3.121veh/hora/calzada), de acuerdo con las condiciones imperantes en el acceso, se obtiene los siguientes factores de ajuste para cada medición:

Tabla 3. Factores de ajuste (S calculado / S medido). (Fuente: Evaluación propia)

% moto	% autos	Flujo de saturación calzada (S) (en campo)	Factor de Proporción (S Calculado/ S Medido)
26%	74%	3281	1,05
51%	49%	2778	0,89
49%	51%	2775	0,89
53%	47%	2800	0,90
45%	55%	2836	0,91
56%	44%	2909	0,93
46%	54%	3007	0,96
44%	56%	3047	0,98
49%	51%	2660	0,85
39%	61%	3328	1,07
28%	72%	2939	0,94
49%	51%	2624	0,84

% moto	% autos	Flujo de saturación calzada (S) (en campo)	Factor de Proporción (S Calculado/ S Medido)
37%	63%	3239	1,04
38%	63%	2718	0,87
27%	73%	2950	0,95
39%	61%	3195	1,02
19%	81%	3135	1,00
46%	54%	2523	0,81
28%	73%	3106	1,00
38%	62%	3055	0,98
39%	61%	2926	0,94
35%	65%	2760	0,88
47%	53%	3173	1,02
30%	70%	3005	0,96
27%	73%	2987	0,96
39%	61%	3204	1,03
44%	56%	2807	0,90
29%	71%	2997	0,96
34%	66%	3359	1,08
28%	72%	3324	1,06
24%	76%	3132	1,00
43%	57%	2735	0,88
30%	70%	2834	0,91
28%	72%	3150	1,01
30%	70%	3182	1,02
17%	83%	3357	1,08
43%	57%	2616	0,84
28%	72%	3135	1,00
31%	69%	2799	0,90
38%	62%	3001	0,96
26%	74%	2859	0,92
21%	79%	3068	0,98
33%	67%	3172	1,02
29%	71%	3152	1,01
29%	71%	3448	1,10
27%	73%	3507	1,12
33%	67%	3039	0,97
27%	73%	3162	1,01
40%	60%	2911	0,93

% moto	% autos	Flujo de saturación calzada (S) (en campo)	Factor de Proporción (S Calculado/ S Medido)
25%	75%	3157	1,01
30%	70%	3242	1,04
53%	47%	2880	0,92
53%	47%	3057	0,98
55%	45%	2742	0,88
51%	49%	2723	0,87
52%	48%	3193	1,02
54%	46%	2976	0,95
63%	37%	2454	0,79
49%	51%	3007	0,96
61%	39%	2810	0,90
61%	39%	3068	0,98
62%	38%	2653	0,85
57%	43%	2817	0,90
58%	42%	2690	0,86
61%	39%	2387	0,76
63%	38%	2784	0,89
58%	42%	2468	0,79
64%	36%	2535	0,81
38%	63%	2892	0,93
56%	44%	2831	0,91
72%	28%	2237	0,72
52%	48%	2751	0,88
66%	34%	2632	0,84
57%	43%	2440	0,78
60%	40%	2899	0,93
63%	37%	2641	0,85
51%	49%	2805	0,90
43%	57%	3175	1,02
49%	51%	3020	0,97
58%	42%	2767	0,89
50%	50%	2623	0,84
51%	49%	2953	0,95
56%	44%	2509	0,80
32%	68%	3145	1,01
55%	45%	3068	0,98

3.5. PORCENTAJE DE MOTOS VS FACTOR DE AJUSTE

Con el fin de encontrar la correlación entre el porcentaje de motos en la composición vehicular y los factores de ajuste calculados, se grafican dichas variables, lo que permitirá obtener, por medio de regresiones, un modelo matemático que permita establecer el efecto de las motos en el flujo de saturación, que es el objeto de la presente investigación.

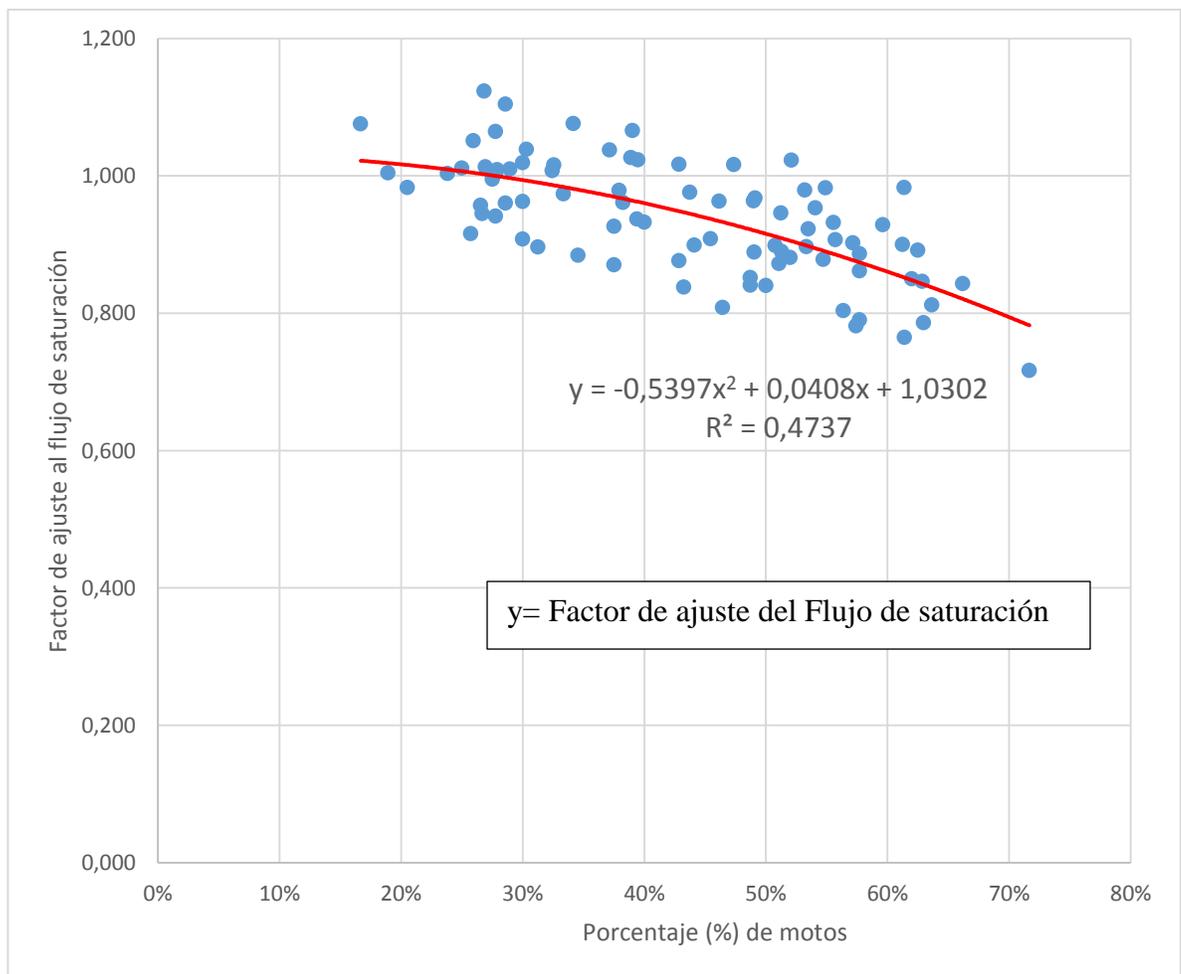


Figura 13. Porcentaje de motos vs Factor de ajuste. (Fuente: Creación Propia).

Del gráfico anterior se puede obtener la ecuación de la regresión para así establecer, para cualquier porcentaje de motos, el factor de ajuste del flujo de saturación.

Se tiene entonces la siguiente ecuación:

$$F_m = -0.5397 * (M)^2 + 0.0408 * (M) + 1.0302 \quad (14)$$

Donde,

F_m: Factor de ajuste del flujo de saturación por la presencia de motos.
M: Porcentaje de motos con respecto al resto de vehículos

3.6. VALIDACIÓN DEL MODELO

Para evaluar el modelo, se comparan las mediciones de campo con los resultados del modelo mediante el estadístico GEH, ilustrado en el marco teórico, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4. Validación del modelo por medio del estadístico GEH. (Fuente: Creación propia)

% moto	% autos	Flujo de saturación calzada (en campo)	Flujo de saturación calzada (Modelo)	GEH
26%	74%	3281	3135	2,59
51%	49%	2778	2837	1,13
49%	51%	2775	2873	1,84
53%	47%	2800	2804	0,08
45%	55%	2836	2925	1,66
56%	44%	2909	2766	2,69
46%	54%	3007	2915	1,68
44%	56%	3047	2948	1,79
49%	51%	2660	2877	4,14
39%	61%	3328	3008	5,68
28%	72%	2939	3121	3,30
49%	51%	2624	2877	4,82
37%	63%	3239	3030	3,74
38%	63%	2718	3026	5,75
27%	73%	2950	3129	3,24
39%	61%	3195	3003	3,45
19%	81%	3135	3179	0,77
46%	54%	2523	2911	7,45
28%	73%	3106	3123	0,30
38%	62%	3055	3021	0,62
39%	61%	2926	3004	1,43

% moto	% autos	Flujo de saturación calzada (en campo)	Flujo de saturación calzada (Modelo)	GEH
35%	65%	2760	3058	5,53
47%	53%	3173	2897	5,00
30%	70%	3005	3102	1,74
27%	73%	2987	3130	2,59
39%	61%	3204	3010	3,49
44%	56%	2807	2943	2,55
29%	71%	2997	3114	2,11
34%	66%	3359	3062	5,23
28%	72%	3324	3121	3,58
24%	76%	3132	3150	0,31
43%	57%	2735	2960	4,22
30%	70%	2834	3102	4,92
28%	72%	3150	3119	0,54
30%	70%	3182	3102	1,42
17%	83%	3357	3190	2,93
43%	57%	2616	2955	6,42
28%	72%	3135	3121	0,26
31%	69%	2799	3090	5,37
38%	62%	3001	3018	0,31
26%	74%	2859	3136	5,06
21%	79%	3068	3170	1,83
33%	67%	3172	3078	1,67
29%	71%	3152	3111	0,74
29%	71%	3448	3114	5,83
27%	73%	3507	3128	6,58
33%	67%	3039	3070	0,56
27%	73%	3162	3127	0,62
40%	60%	2911	2997	1,58
25%	75%	3157	3142	0,27
30%	70%	3242	3099	2,54
53%	47%	2880	2801	1,48
53%	47%	3057	2806	4,63
55%	45%	2742	2780	0,74
51%	49%	2723	2841	2,24
52%	48%	3193	2825	6,71
54%	46%	2976	2792	3,43

% moto	% autos	Flujo de saturación calzada (en campo)	Flujo de saturación calzada (Modelo)	GEH
63%	37%	2454	2628	3,44
49%	51%	3007	2873	2,47
61%	39%	2810	2662	2,84
61%	39%	3068	2659	7,64
62%	38%	2653	2647	0,12
57%	43%	2817	2738	1,51
58%	42%	2690	2728	0,74
61%	39%	2387	2658	5,39
63%	38%	2784	2637	2,82
58%	42%	2468	2728	5,11
64%	36%	2535	2614	1,56
38%	63%	2892	3026	2,47
56%	44%	2831	2763	1,29
72%	28%	2237	2441	4,23
52%	48%	2751	2826	1,42
66%	34%	2632	2561	1,39
57%	43%	2440	2733	5,77
60%	40%	2899	2692	3,91
63%	37%	2641	2630	0,23
51%	49%	2805	2846	0,75
43%	57%	3175	2960	3,87
49%	51%	3020	2871	2,75
58%	42%	2767	2728	0,75
50%	50%	2623	2858	4,49
51%	49%	2953	2838	2,13
56%	44%	2509	2752	4,73
32%	68%	3145	3079	1,18
55%	45%	3068	2777	5,37

Como resultado de la validación, se encontró que el 81% de los datos a los que fue evaluado con el modelo el parámetro GEH estuvo por debajo de 5 y un 19% de los datos estuvo en un rango entre 5 y 10.

Por lo anterior, es de precisar que si bien se obtuvo que un 81% de los valores fueron $GEH < 5$, para lograr un mayor porcentaje, será necesario contemplar la

posibilidad de aumentar el número de mediciones o analizar otras intersecciones, para lograr un mejor ajuste.

4. APLICACIÓN DEL MODELO

4.1. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO ADOPTANDO EL FACTOR DE MOTOS DE 0.3.

Como se describió en la metodología, se evaluó la capacidad y nivel de servicio de la intersección analizada por medio de software de microsimulación, tanto con la metodología convencional como con el modelo producto de esta investigación.

Aplicando la metodología actual, se toma los volúmenes de cada maniobra durante la hora pico a.m. y p.m., de los aforos realizados en esta intersección, suministrados por la empresa Vías y Tránsito SAS. Luego estos volúmenes, en vehículos mixtos, se convierten en vehículos equivalentes (p.c.u.) aplicando los factores propuestos por la Secretaria de Movilidad del municipio de Medellín.

Seguidamente, en el software de microsimulación Sidra Intersection, se definen las características físicas y operacionales de la intersección evaluada, emulando la realidad. Entre estas características se encuentran el número de carriles, el ancho de carriles, fases semafóricas, el flujo de saturación por carril, entre otros aspectos.

Como se afirmó anteriormente, en la práctica se ha adoptado el flujo de saturación teórico de 1800 veh/h/carril, valor que la presente investigación pretende reevaluar.

El reporte de resultados que arroja el software Sidra Intersection se presenta en un cuadro que contiene los principales parámetros que se consideran en la evaluación de las intersecciones. En la siguiente figura se explica cada componente de dicho reporte.

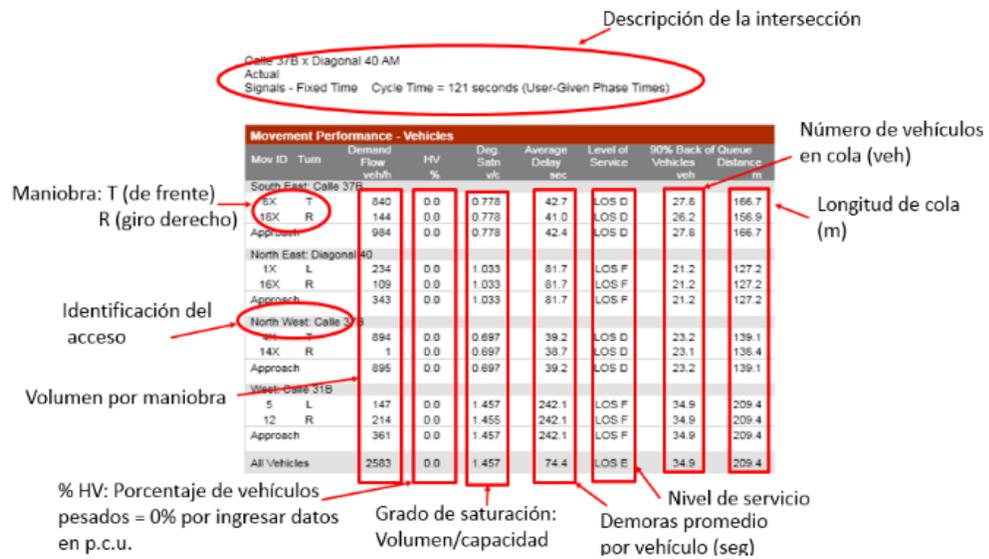


Figura 14. Componentes del cuadro de reportes de resultados del software Sidra Intersection. (Fuente: Creación propia).

Con todo lo anterior, se simuló la intersección obteniendo el siguiente reporte de resultados:

Calle 37B x Diagonal 40 AM
Actual
Signals - Fixed Time Cycle Time = 121 seconds (User-Given Phase Times)

Movement Performance - Vehicles								
Mov ID	Turn	Demand Flow veh/h	HV %	Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	90% Back of Queue Vehicles veh	Distance m
South East: Calle 37B								
8X	T	840	0.0	0.778	42.7	LOS D	27.8	166.7
18X	R	144	0.0	0.778	41.0	LOS D	26.2	156.9
Approach		984	0.0	0.778	42.4	LOS D	27.8	166.7
North East: Diagonal 40								
1X	L	234	0.0	1.033	81.7	LOS F	21.2	127.2
16X	R	109	0.0	1.033	81.7	LOS F	21.2	127.2
Approach		343	0.0	1.033	81.7	LOS F	21.2	127.2
North West: Calle 37B								
4X	T	894	0.0	0.697	39.2	LOS D	23.2	139.1
14X	R	1	0.0	0.697	38.7	LOS D	23.1	138.4
Approach		895	0.0	0.697	39.2	LOS D	23.2	139.1
West: Calle 31B								
5	L	147	0.0	1.457	242.1	LOS F	34.9	209.4
12	R	214	0.0	1.455	242.1	LOS F	34.9	209.4
Approach		361	0.0	1.457	242.1	LOS F	34.9	209.4
All Vehicles		2583	0.0	1.457	74.4	LOS E	34.9	209.4

Figura 15. Resumen de resultados de la simulación de la intersección evaluada durante la hora pico a.m. (Fuente: Creación propia en software Sidra Intersection).

Calle 37B x Diagonal 40 PM
 Actual
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 121 seconds (User-Given Phase Times)

Movement Performance - Vehicles								
Mov ID	Turn	Demand Flow veh/h	HV %	Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	90% Back of Queue Vehicles veh	Distance m
South East: Calle 37B								
8X	T	983	0.0	0.983	69.1	LOS E	45.2	271.2
16X	R	256	0.0	0.983	67.1	LOS E	42.6	255.3
Approach		1239	0.0	0.983	68.7	LOS E	45.2	271.2
North East: Diagonal 40								
1X	L	373	0.0	1.631	315.3	LOS F	52.9	317.6
16X	R	117	0.0	1.626	315.3	LOS F	52.9	317.6
Approach		490	0.0	1.631	315.3	LOS F	52.9	317.6
North West: Calle 37B								
4X	T	808	0.0	0.637	36.8	LOS D	20.3	121.6
14X	R	9	0.0	0.637	36.2	LOS D	20.0	120.2
Approach		817	0.0	0.637	36.8	LOS D	20.3	121.6
West: Calle 31B								
5	L	124	0.0	1.061	92.5	LOS F	16.2	97.4
12	R	134	0.0	1.060	92.5	LOS F	16.2	97.4
Approach		258	0.0	1.061	92.5	LOS F	16.2	97.4
All Vehicles		2804	0.0	1.631	104.7	LOS F	52.9	317.6

Figura 16. Resumen de resultados de la simulación de la intersección evaluada durante la hora pico p.m.
 (Fuente: Creación propia en software Sidra Intersection).

De los resultados obtenidos de la simulación, se observa tanto en la hora pico de la mañana como en la hora pico de la tarde, altos valores de grado de saturación, superior a 0.85 y niveles de servicio F. Esto adoptando la metodología de vehículos equivalentes con factor de motos de 0.3 y flujo de saturación de 1800 veh/h.

Se observa que los accesos que presentan mayor demora y formación de colas son los que poseen menor volumen, esto es, los accesos nororiental y occidental, esto debido a que disponen de menor tiempo de verde dentro de la composición del ciclo semafórico y sólo poseen un carril de acceso, lo que produce que las filas no sean evacuadas en una sola fase de verde. Caso contrario ocurre en los accesos de la calle 37B, en doble calzada cada una con dos carriles de acceso, cuyo acceso son los mayormente demandados.

Otro aspecto relevante en la operación de esta intersección, es que el control semafórico es de cuatro (4) fases, esto quiere decir que los cuatro accesos tiene cada uno tiempos de verde, por lo que es necesario ciclos demasiados largos con cortos tiempos de verde, que contribuyen a largas esperas para cada acceso.

Los valores de longitudes de filas obtenidos de la simulación, no coinciden con lo que ocurre en la realidad, donde se observaron durante las actividades llevadas en campo, filas en los accesos críticos, suroriente y noroccidente, alrededor de 100m en la hora pico de la tarde.

El resultado anterior es un ejemplo de lo que sucede al considerar las motos con un factor de 0.3 veces un vehículo liviano, ya que según las simulaciones producen filas aún mayores de lo que se presenta en la realidad, por lo que este tipo de situaciones ha motivado esta investigación.

4.2. METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología propuesta para analizar la capacidad y nivel de servicio de una intersección, luego de realizar esta investigación, consiste en tomar los volúmenes vehiculares aforados y obtener de estos la proporción de motos con respecto a los demás vehículos (en porcentaje %), para todos los accesos de la intersección. Adicionalmente, para cada maniobra permitida en la intersección evaluada, se debe calcular el volumen de las horas pico a.m. y p.m., en vehículos equivalentes. Sin embargo, de acuerdo con la hipótesis de esta investigación, las motos no deberían convertirse en vehículos equivalentes, ya que no siguen la disciplina del carril, por lo tanto en el cálculo del volumen de cada maniobra, se deberá descartar las motos y afectar el flujo de saturación con el modelo obtenido de esta investigación.

Obtenida la proporción de motos, comentada en el aparte anterior, para cada acceso de la intersección, se aplica la ecuación 14 expuesta en el numeral 3.5, para el cálculo del ajuste del flujo de saturación:

Luego, adoptando el valor teórico del flujo de saturación (1800 veh/h), éste se afecta con el factor de ajuste, calculado con la ecuación anterior, obteniendo así el valor del flujo de saturación de acuerdo con la cantidad de motos en cada acceso.

Ahora bien, aplicando la metodología propuesta como insumo del cálculo de la capacidad y nivel de servicio de una intersección, se analizará la intersección por medio del software de microsimulación Sidra Intersection.

4.3. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO CON METODOLOGÍA PROPUESTA.

De forma análoga al cálculo de la capacidad y nivel de servicio, realizado en el numeral 4.1., se adopta la metodología propuesta como valores de entrada del software, es decir, a cada acceso de la intersección se debe ingresar el valor del flujo de saturación calculado con la ecuación ilustrada en el capítulo anterior. Adicionalmente, los volúmenes durante las horas pico, como se mencionó anteriormente, se deben ingresar en vehículos equivalentes sin tener en cuenta las motos, ya que esta investigación pretende reevaluar el concepto del factor de equivalencia de 0.3 para las motos.

En este orden de ideas, se muestra a continuación los resultados obtenidos para las horas pico a.m. y p.m.:

Calle 3/B x Diagonal 40 AM

Actual

Signals - Fixed Time Cycle Time = 121 seconds (User-Given Phase Times)

Movement Performance - Vehicles								
Mov ID	Turn	Demand Flow veh/h	HV %	Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	90% Back of Queue Vehicles veh	Distance m
South East: Calle 37B								
8X	T	721	0.0	0.807	46.1	LOS D	24.4	146.4
18X	R	118	0.0	0.807	43.6	LOS D	23.0	138.0
Approach		839	0.0	0.807	45.7	LOS D	24.4	146.4
North East: Diagonal 40								
1X	L	175	0.0	0.944	76.2	LOS E	17.4	104.6
16X	R	89	0.0	0.944	76.2	LOS E	17.4	104.6
Approach		264	0.0	0.944	76.2	LOS E	17.4	104.6
North West: Calle 37B								
4X	T	637	0.0	0.606	36.0	LOS D	15.5	93.0
14X	R	1	0.0	0.606	34.7	LOS C	15.2	91.2
Approach		638	0.0	0.606	35.9	LOS D	15.5	93.0
West: Calle 31B								
5	L	131	0.0	1.150	121.8	LOS F	20.6	123.6
12	R	154	0.0	1.148	121.8	LOS F	20.6	123.6
Approach		285	0.0	1.150	121.8	LOS F	20.6	123.6
All Vehicles		2026	0.0	1.150	57.3	LOS E	24.4	146.4

Figura 17. Resumen de resultados de la simulación de la intersección evaluada durante la hora pico a.m. con metodología propuesta (Fuente: Creación propia en software Sidra Intersection).

Calle 37B x Diagonal 40 PM
 Actual
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 121 seconds (User-Given Phase Times)

Movement Performance - Vehicles								
Mov ID	Turn	Demand Flow veh/h	HV %	Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	90% Back of Queue Vehicles veh	Distance m
South East: Calle 37B								
8X	T	701	0.0	0.835	47.5	LOS D	27.2	163.1
18X	R	205	0.0	0.835	43.4	LOS D	24.9	149.3
Approach		906	0.0	0.835	46.6	LOS D	27.2	163.1
North East: Diagonal 40								
1X	L	316	0.0	1.295	175.0	LOS F	35.2	211.3
16X	R	93	0.0	1.295	175.0	LOS F	35.2	211.3
Approach		409	0.0	1.295	175.0	LOS F	35.2	211.3
North West: Calle 37B								
4X	T	660	0.0	0.565	34.4	LOS C	15.8	94.6
14X	R	7	0.0	0.565	33.5	LOS C	15.5	92.8
Approach		667	0.0	0.565	34.4	LOS C	15.8	94.6
West: Calle 31B								
5	L	107	0.0	0.870	58.4	LOS E	12.2	72.9
12	R	109	0.0	0.869	58.4	LOS E	12.2	72.9
Approach		216	0.0	0.870	58.4	LOS E	12.2	72.9
All Vehicles		2198	0.0	1.295	68.0	LOS E	35.2	211.3

Figura 18. Resumen de resultados de la simulación de la intersección evaluada durante la hora pico a.m. con metodología propuesta (Fuente: Creación propia en software Sidra Intersection).

Luego, con el fin de comparar los resultados de la metodología actual con la propuesta, se analiza la intersección con el software de microsimulación VISSIM, que se basa con la teoría de seguimiento, que permite ingresar el volumen vehicular por tipología de vehículos, cada uno con sus características de movimiento en el flujo vehicular. Este software, permite además darle atributos al comportamiento de las motos, de tal forma que se emule la capacidad de estas de circular entre los vehículos y por cualquier ubicación del carril.

De igual forma al software SIDRA, VISSIM permite la construcción de la infraestructura con gran nivel de detalle, tales como: número de carriles, pendiente, control semafórico, maniobras en la intersección, entre otros.

Tomando el periodo pico más crítico, esto es, el periodo donde se cuenta con el mayor número de motos con respecto a los otros vehículos, que corresponde al periodo pico p.m. VISSIM arroja los resultados de la tabla 5.

Tabla 5. Resumen de resultados de la intersección analizada con el software VISSIM en la hora pico PM (Fuente: Creación propia).

Movimiento	Total vehículos	Demoras de todos los vehículos (s)	Cola Media (m)	Cola Máxima (m)	Vol. Vehículos Aforado	GEH	N.S
SE-NW	1501	64,65	82,05	180,62	1490	0,3	E
SE-N	294	68,52	82,05	180,62	333	2,2	E
NW-SE	1028	36,24	22,09	86,05	997	1,0	D
NW-W	6	0,00	22,09	86,05	12	2,0	A
NE-NW	16	140,60	75,83	107,23	13	0,8	F
NE-SE	440	167,50	75,83	107,23	469	1,4	F
NE-W	137	0,00	75,83	107,23	142	0,4	A
W-NW	9	0,00	16,90	78,19	9	0,0	A
W-SE	184	66,88	16,90	78,19	187	0,2	E
W-N	124	0,00	16,90	78,19	131	0,6	A
Todos	3739	62,62	48,65	180,62	3783	0,7	E

En la tabla 6, se muestra un cuadro comparativo de los resultados de las simulaciones, para confrontar los resultados para el periodo pico de la tarde.

Tabla 6. Cuadro comparativo de resultados de las simulaciones con la metodología actual y propuesta. (Fuente: Creación propia)

Movimiento	METODOLOGIA ACTUAL		METODOLOGIA PROPUESTA		RESULTADOS VISSIM	
	Demoras de todos los vehículos (s)	N.S	Demoras de todos los vehículos (s)	N.S	Demoras de todos los vehículos (s)	N.S
SE-NW	69,1	E	47,5	D	64,65	E
SE-N	67,1	E	43,5	D	68,52	E
NW-SE	36,8	D	34,4	C	36,24	D
NW-W	36,2	D	33,5	C	0,00	A
NE-NW	315,3	F	175	F	140,60	F
NE-SE	315,3	F	175	F	167,50	F
NE-W					0,00	A
W-NW	92,5	F	58,4	E	0,00	A
W-SE	92,5	F	58,4	E	66,88	E
W-N					0,00	A
Todos	104,7	F	68	E	62,62	E

Del cuadro anterior, se aprecia desde el análisis global de la intersección, que el resultado total, por medio de la metodología propuesta, se acerca mucho a los valores de demora y nivel de servicio total realizado por medio del software VISSIM. Sin embargo, analizando cada maniobra de la intersección evaluada, en algunas de estas, con la metodología propuesta, no se obtuvo resultados semejantes a los resultados con el software VISSIM, debido a que la metodología sólo debería aplicarse a los accesos con dos carriles por sentido, como es el caso de los movimientos procedentes del acceso NE y SE.

Por lo tanto, sería adecuado implementar la metodología desarrollada en esta investigación, sólo para los accesos que posean dos carriles por sentido, ya que los resultados son muy acertados si se compara con los obtenidos del software que permite emular fielmente la realidad.

4.4. TABLA PROPUESTA PARA ADOPTAR EL FACTOR DE AJUSTE DEL FLUJO DE SATURACIÓN.

Producto de la ecuación que mejor se ajusta a la tendencia de la correlación del porcentaje de motos con respecto al factor de ajuste del flujo de saturación, ilustrada en el numeral 7.2, se realiza la siguiente tabla que se propone para aplicarla sólo en intersecciones semaforizadas de dos carriles.

*Tabla 7. Valores propuestos del flujo de saturación adoptando el modelo propuesto.
(Fuente: Creación propia)*

PORCENTAJE DE MOTOS CON RESPECTO A LOS DEMÁS TIPOS DE VEHÍCULOS	A PARTIR DEL FLUJO DE SATURACIÓN REAL DE LA INTERSECCIÓN 3121veh/hora/calzada	ADOPTANDO FLUJO DE SATURACIÓN TEÓRICO 3600Veh/hora/calzada
0%	3215	3709
5%	3217	3711
10%	3211	3704
15%	3196	3687
20%	3173	3660
25%	3142	3624
30%	3102	3578
35%	3053	3522

PORCENTAJE DE MOTOS CON RESPECTO A LOS DEMÁS TIPOS DE VEHÍCULOS	A PARTIR DEL FLUJO DE SATURACIÓN REAL DE LA INTERSECCIÓN 3121veh/hora/calzada	ADOPTANDO FLUJO DE SATURACIÓN TEÓRICO 3600Veh/hora/calzada
40%	2997	3457
45%	2931	3381
50%	2858	3296
55%	2776	3202
60%	2685	3097
65%	2586	2983
70%	2479	2860
75%	2363	2726
80%	2239	2583
85%	2107	2430
90%	1965	2267
95%	1816	2095
100%	1658	1913

5. CONCLUSIONES

- Llevada a cabo las actividades de campo, se confirma que las motos poseen un comportamiento diferenciado frente los demás vehículos que se encuentran en una intersección semaforizada, donde estas se forman en el inicio de la fila del acceso y entre los carriles.
- Como resultado de los conteos se puede concluir que más del 50% de las motos pasan la línea del semáforo, durante la luz verde, antes que el cuarto vehículo pase dicha línea, donde según el HCM a partir del cuarto vehículo ya se experimentaría la saturación del carril.
- Según la gráfica obtenida de comparar el porcentaje de motos en el acceso versus el factor de ajuste, en un acceso donde se cuente con un porcentaje de motos inferior al 30%, estas no significarán una afectación a la capacidad de la intersección, a partir de dicho porcentaje las motos significan una afectación evidente en el flujo de saturación.
- De los resultados de aplicar la metodología propuesta con respecto a la metodología actual (aplicando un factor de equivalencia de motos de 0.3 e incluirlas en el volumen vehicular), y además con los resultados del software VISSIM, que considera las características reales del movimiento de las motos dentro del flujo vehicular, es posible concluir que lo encontrado en esta investigación se ajusta mejor a la realidad, sólo para accesos de dos carriles de circulación por sentido, evidenciando que las demoras se reducen notablemente frente a la metodología actual, que tiende a sobredimensionar las demoras y el nivel de servicio. (Ver tabla 6).
- Con esta metodología se podría establecer un factor de ajuste adicional, del flujo de saturación, por la presencia de motos como otros que considera el manual de capacidad de Estados Unidos HCM 2000, mostrados en la figura 3.
- Con esta investigación se busca que las teorías de capacidad y nivel de servicio del manual americano HCM, adoptadas para las ciudades de Colombia, donde el bajo poder adquisitivo de algunas regiones del país o sectores de la sociedad han adoptado el vehículo tipo motocicleta como medio de transporte cotidiano, se puedan aplicar considerando las características propias de cada ciudad en cuanto al crecimiento desenfrenado de este tipo de vehículos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. J. P. Cabra, *Determinación del Factor de Equivalencia de Motocicletas en Flujo Ininterrumpido en Vías con Pendiente 0% de 3 carriles en Colombia*, Bogotá D.C.
- [2] S. d. T. y. T. d. Medellín, «Medellín Portal de la ciudad,» Septiembre 2008. [En línea]. Available: http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/tecnica/laboratorio-movilidad/estudios-movilidad/otros_estudios/carril_solo_motos.pdf. [Último acceso: 03 Diciembre 2013].
- [3] S. I. S. Mejía, «Fenalco Antioquia,» 2012. [En línea]. Available: http://www.fenalcoantioquia.com/res/itemsTexto/recursos/editorial_feria_de_las_2_ruedas.pdf. [Último acceso: 05 Noviembre 2013].
- [4] «Medellín Como Vamos,» [En línea]. Available: www.medellincomovamos.org/movilidad-y-espacio-publico. [Último acceso: 01 06 2014].
- [5] Universidad de los Andes, «Fondo de Prevención Vial,» 2011. [En línea]. Available: http://www.fpv.org.co/uploads/documentos/libreria/anuario_2011_pagina.pdf. [Último acceso: 03 Diciembre 2013].
- [6] N. J. Garber y L. A. Hoel, *Ingeniería de tránsito y carreteras*, México, D.F.: Thomson, 2005.
- [7] D. J. S. Carlos Useda Ramírez, «Metodología para el análisis de intersecciones semaforizadas,» *Universidad Nacional de Ingeniería Nicaragua*, Septiembre 2003.
- [8] M. L. Suarez, «Asignatura Ingeniería de Tránsito,» de *Clase # 7*, Medellín, 2013.
- [9] Akcelik & Associates Pty Ltd, «Sidra Solutions,» Noviembre 2012. [En línea]. Available: http://www.sidrasolutions.com/downloads/SIDRAINTERSECTION_UserGuide.pdf. [Último acceso: 06 11 2014].
- [10] PTV GROUP, «PTV GROUP the mind of movement,» PTV GROUP, 2013. [En línea]. Available: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/productos/ptv-vissim/>. [Último acceso: 06 11 2013].
- [11] J. H. S. Francesconi, «ESTIMACIÓN DE LA AFECTACIÓN DE LA CAPACIDAD EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS COMO CONSECUENCIA DEL ESTADO DEL PAVIMENTO,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2011.
- [12] V. G. V. Alaix, «TEORIA DE FLUJO DE TRÁNSITO,» [En línea].

**ANEXO 1: RESULTADOS DE AFORO DE MEDICIÓN
DEL FLUJO DE SATURACIÓN EN CAMPO**

**ANEXO 2: RESULTADOS DE AFORO CALLE 37 SUR X
DIAGONAL 40, SUMINISTRADO POR LA EMPRESA
VÍAS Y TRÁNSITO SAS.**