

Determinación de un factor de conversión de motocicletas a vehículos livianos en el área metropolitana de Bucaramanga

Yurley Tatiana Gaviria Cardona y Eliberto Carreño Vargas

Proyecto de grado para optar al título de Profesional en ingeniería civil

Director:

Luis David Arévalo Duran

Especialista en ingeniería de tránsito y transporte

Universidad Industrial De Santander

Facultad de Ingenierías Físicomecánicas

Escuela De Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

Inicialmente quiero agradecerle a Dios por su infinito amor, por permitirme llegar hasta estas instancias, pese a las dificultades que se presentaron en el camino, por guiarme en cada paso que daba, para lograr cumplir el objetivo, recibir mi título profesional.

A mi madre Gloria Cardona por su apoyo incondicional, sus bendiciones diarias, por su amor inquebrantable, por ser mi bastón cuando sentía no poder, por sus sacrificios y sus sabios consejos, también a mi padre Javier Gaviria por trabajar incansablemente para poder brindarme todas las posibilidades de realizar la carrera que tanto anhelaba y darlo todo por la familia, los amo tanto, son la razón de lo que soy hoy, el fruto de su buen trabajo y los valores que sembraron en mí.

Les agradezco a cada uno de mis hermanos por priorizarme, quererme y cuidarme como lo hacen, creyeron en mis capacidades y este es el resultado, son mi vida y siento que en gran parte sin ustedes esto no habría sido posible.

A los amigos y compañeros con los que viví momentos muy especiales durante el proceso académico, con los cuales reí, llore y sobre todo aprendí, que la vida le devuelva a cada uno de ustedes todo lo bueno que le aportan al mundo, muchas bendiciones.

Por ultimo y no menos importante, mi novio y colega, quien ha sido un apoyo incondicional en todo este camino de constante lucha, infinitas gracias por su paciencia, por su compañía en las noches de desvelo, sus enseñanzas y buenos deseos, eres un hombre especial y maravilloso.

Yurley Tatiana Gaviria Cardona

Dedicatoria

A mi familia especialmente a mi madre Martha Elena Vargas a mis hermanas Iris Viviana Carreño y Diara Shiley Vargas a mi tía Jenny Mercedes Vargas y a mi abuela Mercedes Pérez por apoyarme incondicionalmente para hacer realidad esta meta.

A los amigos que me acompañaron en los buenos y malos momentos a lo largo de estos años y a mi novia por su comprensión en los momentos difíciles

A nuestro director Luis David Arévalo duran por ayudarnos y orientarnos en el desarrollo del proyecto

Eliberto Carreño Vargas

Agradecimientos

Le agradecemos profundamente a la Universidad Industrial de Santander, por los conocimientos brindados que nos hicieron crecer como profesionales y a todos los compañeros que también aportaron en el proceso para crecer como personas.

A nuestro director de proyecto, el Ingeniero Luis David Arévalo por su pasión en lo que hace, porque sin sus conocimientos y su ayuda, esto no fuese sido posible.

Finalmente, a mi compañero de proyecto por acompañarme en los momentos difíciles y los logros obtenidos en todo este camino de amistad.

Contenido	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos	14
1.1. Objetivo General	14
1.2. Objetivos Específicos.....	14
2. Ubicación de la zona de estudio.....	15
3. Análisis del estado del arte	16
3.1. Estudios a nivel internacional	16
3.2. Estudios a nivel nacional	19
3.3. Problemática local.....	19
4. Marco Teórico.....	21
4.1. Ingeniería de tránsito.....	21
4.2. Flujo vehicular	21
4.3. Aforos	21
4.4. Congestión	21
4.5. Volumen vehicular.....	22
4.6. Nivele de servicio	22
4.7. Tasa de flujo.....	23
4.8. Volumen horario de máxima demanda (VHMD)	23

DETERMINACIÓN DE UN FACTOR DE CONVERSIÓN	6
4.9. Factor horario de máxima demanda (FHMD)	23
5. Metodología	24
5.1. Análisis de la localización de los puntos y la hora para los aforos correspondientes en el tramo escogido	26
5.2. Creación del formato para la realización del aforo	26
5.3. Tipos de vehículos aforados.....	27
5.4. Realización de los aforos correspondientes a las tres estaciones de cobertura, durante las horas de mayor congestión.....	28
6. Descripción de los Niveles de servicio vehicular, de acuerdo con la observación visual y mediante cálculos basados en los datos de campo.....	32
6.1. Clasificación de niveles de servicio	32
6.1.2. Nivel de servicio B.....	32
6.1.3. Nivel de servicio C.....	33
6.1.4. Nivel de servicio D.	33
6.1.5. Nivel de servicio E.....	33
6.1.6. Nivel de servicio F.....	33
6.2. Descripción de los Niveles de servicio vehicular, de acuerdo con la observación visual	34
6.3. Descripción de los Niveles de servicio vehicular, mediante cálculos basados en los datos de campo.....	35
7. Estudio de volúmenes vehiculares y análisis de congestión con base en los aforos....	37
7.1. Estudio de volúmenes vehiculares y análisis de congestión.....	37

7.1.1. Definiciones técnicas.	37
7.1.2. Cálculo de volúmenes y flujo vehiculares en función del FHMD.	38
8. Análisis y determinación del factor de conversión.	45
8.1. Localización de la sección vial	45
8.2. Procesamiento de registro video gráfico	45
8.2.1. Procesamiento manual-automático	46
8.3. Cálculo de espacio efectivo	47
8.4. Determinación del factor de conversión	50
8.4.1. Método de estudio por Chu Cong “Desarrollo de la unidad de motocicleta (UEM) para el tráfico dominado por motocicletas”	51
9. Conclusiones	57
10. Recomendaciones	59
Referencias Bibliográficas	61

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Factores moto-equivalentes hallados en Hanói, Vietnam _ Nagaoka University.....	16
Tabla 2. Factores moto-equivalentes hallados en Hanói, Vietnam _ Nagaoka University.....	17
Tabla 3. Factor-moto equivalente.	19
Tabla 4. Niveles de servicio.....	22
Tabla 5. Logística de aforadores.....	28
Tabla 6. Calificativos para los niveles de servicio.....	33
Tabla 7. Niveles de servicio para vías urbanas.....	35
Tabla 8. Determinación de los NDS por medio de la velocidad.....	36
Tabla 9 Definiciones a utilizar.....	37
Tabla 10. VHMD de la primera estación.....	39
Tabla 11. VHMD de la segunda estación.....	41
Tabla 12. VHMD de la segunda estación.....	43
Tabla 13. Espacio efectivo.....	52
Tabla 14. Velocidad efectiva.....	54
Tabla 15. Ecuaciones de espacio efectivo.....	54
Tabla 16. Factor moto-equivalente.....	56
Tabla 17. Factor moto-equivalencia.....	56

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Localización de la zona de estudio en Bucaramanga, Santander.	15
Figura2. Formato de aforo hora pico. Volúmenes de tránsito sector de la carrera 27 entre la puerta del sol y la calle 45.....	26
Figura 3. Categorización de vehículos.....	27
Figura 4. Formato de aforo de la estación N ^a 1.....	29
Figura5. Formato de aforo de la estación N ^a 2.....	30
Figura 6. Formato de aforo de la estación N ^a 3.....	31
Figura 7. Muestra del congestionamiento en la carrera 27..	34
Figura8. VHMD de la primera estación.....	39
Figura 9. VHMD de la segunda estación.	41
Figura 10. VHMD de la segunda estación.	43
Figura 11. Evidencia registro foto gráfico	46
Figura 12. Software Kinovea	47
Figura13. Espacio efectivo.....	48
Figura 14. Generación de cuadrícula para medición.	49
Figura 15. Exportación de datos	50
Figura 16. Relación espacio y velocidad efectiva (motocicletas).....	51
Figura 17. Relación espacio y velocidad efectiva (Automóviles)	52
Figura 18. Espacio efectivo.....	53
Figura 19. Relación factor moto-equivalente.....	55

Resumen

Título: Determinación de un factor de conversión de motocicletas a vehículos livianos en el área metropolitana de Bucaramanga. *

Autores: Yurley Tatiana Gaviria Cardona, Eliberto Carreño Vargas. **

Palabras claves: Vehículos livianos, capacidad vial, Congestión, Flujo vehicular, Niveles de servicio.

Descripción:

Uno de los principales problemas en el área metropolitana de Bucaramanga es el evidente crecimiento acelerado del parque automotor, en especial las motocicletas que afectan la movilidad y el flujo vehicular, pues actualmente la población en su gran mayoría se beneficia con el uso de este transporte para desarrollar sus actividades diarias.

En los conteos de tránsito que se efectúan para realizar estudios de capacidad vial, la metodología no contempla las motocicletas como vehículo liviano, pero dada la cantidad existente en Colombia, es preciso y necesario establecer referencias frente al vehículo liviano, con el propósito de medir su impacto frente al tránsito pesado especialmente en la ciudad de Bucaramanga. Por otra parte, los estudios de congestionamiento deben contar con aforos de estos velocípedos, pero su contabilización no es propiamente la de un vehículo como tal, por lo que se requiere establecer equivalencias de la misma manera como el Highway Capacity Manual establece equivalencias de autos a buses y camiones. En el presente trabajo, se expone un método propuesto por Chu Cong para la determinación del factor de conversión; para esto, se inicia con la localización del sitio a investigar, posteriormente, se lleva a cabo un registro manual y video gráfico, por último, se realiza el cálculo para el espacio efectivo y así llegar a la determinación del factor y obtener la ecuación necesaria.

* Trabajo de grado

** Facultad de Facultad Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Duran (Especialista en Ingeniería de tránsito y transporte).

ABSTRACT

Title: determination of a factor for the conversion of motorcycles to light vehicles in the metropolitan area of Bucaramanga.*

Authors: Yurley Tatiana Gaviria Cardona, Eliberto Carreño Vargas.**

Keywords: Light vehicles, road capacity, Congestion, Vehicle flow, Service levels.

One of the main problems in the metropolitan area of Bucaramanga is the evident accelerated growth of the vehicle fleet, especially motorcycles that affect mobility and vehicular flow, since currently the majority of the population benefits from the use of this transport to develop your daily activities.

Description:

In the traffic counts that are carried out to carry out road capacity studies, the methodology does not consider motorcycles as light vehicles, but given the amount existing in Colombia, it is necessary and necessary to establish references to light vehicles, in order to measure their impact against heavy traffic especially in the city of Bucaramanga. On the other hand, congestion studies must have gauges of these velocipedes, but their accounting is not properly that of a vehicle as such, so it is necessary to establish equivalences in the same way as the Highway Capacity Manual establishes equivalences of cars to buses and trucks. In the present work, a method proposed by Chu Cong for the determination of the conversion factor is exposed; For this, it begins with the location of the site to be investigated, later, a manual recording and graphic video are carried out, finally, the calculation for the effective space is made and thus arrive at the determination of the factor and obtain the necessary equation.

* Degree work

** Faculty of Physical Mechanics Faculty. School of Civil Engineering. Director: Luis David Arevalo Duran (Specialist in Traffic and Transportation Engineering).

Introducción

Con el transcurrir del tiempo se ha evidenciado el crecimiento acelerado de las motocicletas en el área metropolitana de Bucaramanga, pues adquirir uno de estos velocípedos resulta más fácil en comparación a un automóvil, debido a la facilidad de obtener un crédito por parte de las entidades correspondientes, ya sea de un banco o un concesionario.

Dado que el objetivo general es proponer un estudio que determine un factor de equivalencia de motocicletas en el Área Metropolitana y no propiamente la determinación de un factor en el contexto del mismo territorio, además que las circunstancias actuales en relación a la pandemia, se procedió a la realización de los aforos, únicamente en el municipio de Bucaramanga, en la carrera 27 entre la calle 45 y calle 58 en dirección Sur - Norte en el tiempo de mayor demanda vehicular, preferiblemente en horas de la mañana (6:00am-9:00am), respetando las disposiciones exigidas por el gobierno nacional.

Se deja entonces claro con este estudio, que se requiere realizar varios aforos en el contexto del área metropolitana de Bucaramanga, si se desea obtener factores de equivalencia diversos entre motocicletas y autos, en el AMB, debido a que las condiciones del tráfico y la velocidad varían en los distintos sectores del territorio mencionado. En otras palabras, las condiciones para determinar el factor de equivalencia varían en el territorio del AMB y no se podría hablar de un solo factor. Dada esta circunstancia el propósito es de proponer un estudio o metodología que conduzca a la determinación de factores de equivalencia, en función de las variables que lo determinan.

Desde el punto de vista de la transitabilidad más común en el municipio de Bucaramanga, los puntos a aforar, el día de la semana y la hora, se escogieron con base en la información que brinda la base de datos de la Dirección de Tránsito Bucaramanga.

Este estudio tuvo como apoyo una grabación en el punto a aforar con mayor flujo vehicular (carrera 27#45), con el objetivo de registrar datos de volúmenes y espacios efectivos en el estado de pelotón y seguimiento; para esto la vista del video debe quedar lo más perpendicular al flujo, con buena luminosidad y amplio rango visual.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Proponer un estudio que determine un factor de conversión para los indicadores de equivalencia y motocicletas a autos livianos

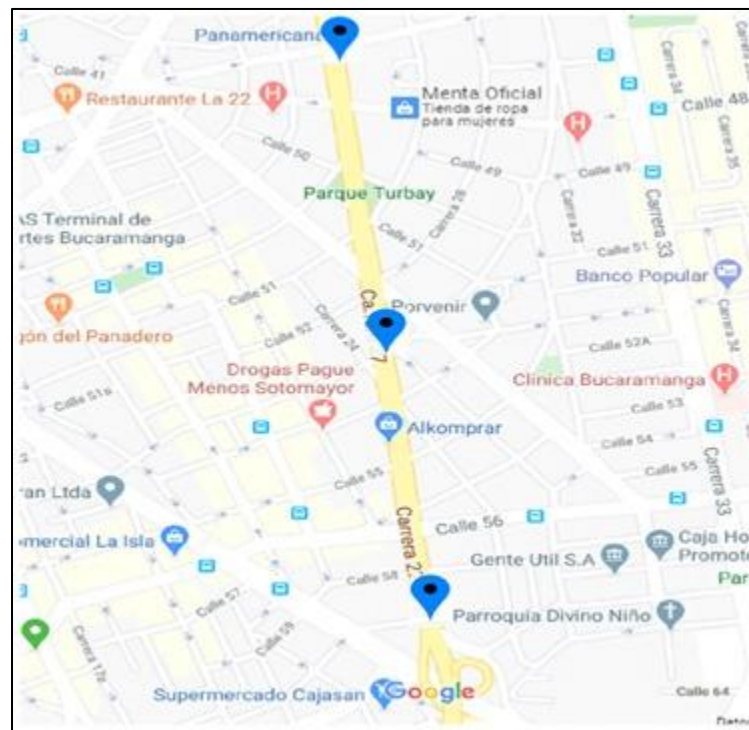
1.2. Objetivos Específicos

- Analizar el estado del arte frente a las equivalencias entre motocicletas y vehículos livianos.
- Realizar aforos de campo en tres sitios específicos
- Analizar los niveles de servicio y congestión
- Determinar el factor de conversión de motocicletas a automóviles livianos

2. Ubicación de la zona de estudio

Figura 1.

Localización de la zona de estudio en Bucaramanga, Santander.



Fuente. Adaptado de Google Maps.

La figura 1 muestra los tres puntos de estudio ubicados sobre la carrera 27 con calle 45, 53 y 58 en dirección Sur-Norte.

3. Análisis del estado del arte

En esta sección se presenta la revisión de la literatura de estudios que se realizó para esta investigación entorno a el factor de conversión de motocicletas a automóviles livianos, en dicha investigación se identificaron métodos implementados en diferentes ciudades del mundo.

3.1. Estudios a nivel internacional

Para la ciudad de Hanói, se registra el trabajo a cargo de Chu Cong en el año 2005 estudiando la velocidad, el flujo y el análisis detallado del tránsito de motocicletas, usando fórmulas matemáticas y estadísticas, aplicando el Test F y T 4 para comparar las características de la velocidad media de las motos entre varios lugares.

Los Test se realizaron con ayuda del software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), encontrando que la velocidad vehicular varía según las diferentes características del tránsito, mostrando que para carriles exclusivos de motocicletas se desarrolla mayor velocidad media a comparación que el tránsito en vía no dividida, es decir, sin el uso de carriles exclusivos para motocicletas.

Algunos valores resultantes del estudio, es la medición del intervalo promedio de 1,16 s, los rangos del intervalo variaban entre 0,34 y 4,31s y la desviación estándar de 0,65 s.

Por otro lado, también se obtiene algunos resultados de los factores de conversión a la unidad de motocicleta en dos secciones viales analizadas. (Chu Cong, Kazushi, & Shoji, 2005)

Tabla 1.

Factores moto-equivalentes hallados en Hanói, Vietnam _ Nagaoka University.

LOCALIZACION	UEM PARA DIFERENTES TIPOS DE VEHICULOS				
	Cicla	Motocicleta	Carro	Mini bus	Bus
3	1.65	1	3.86	10.58	20.27
4	1.67	1	3.60	9.50	19.64

Fuente: Adaptado de (Chu Cong, et al., 2005)

Chu Cong, en el 2009 Genero una colección de datos de ocupación vial para tres vías en Hanoi, Vietnam, aplicando el software SEV, el cual ha sido desarrollado por los mismos investigadores y trabaja en función de la resolución de los pixeles, con la capacidad de utilizar múltiples repeticiones para verificar los resultados, obteniendo fórmulas que describen características dinámicas de vehículos en movimiento. Una de las características estudiadas es la ocupación vial vehicular de la motocicleta, la cual relacionan con los demás vehículos para estimar factores de equivalencia. (Chu Cong, et al., 2009)

Tabla 2.

Factores moto-equivalentes hallados en Hanói, Vietnam _ Nagaoka University

LOCALIZACION	Carro		Cicla		Mini bus		Bus	
	Velocidad	UEM	Velocidad	UEM	Velocidad	UEM	Velocidad	UEM
1	9.35	2.20	4.59	0.98	8.89	3.45	6.48	7.27
2	9.43	2.19	5.07	1	9.27	3.33	7.17	6.87
3	7.42	2.54	3.98	0.94	6.06	4.52	5.66	7.68

Fuente: Adaptado de (Chu Cong, et al., 2005)

Songsakdi, en el año 2010 donde se estudió la relación entre el alto número de motocicletas y el tiempo requerido para que la intersección sea despejada de motocicletas, teniendo en cuenta el tiempo medio de compensación de la cola que forman las motocicletas.

La investigación estuvo apoyada del modelo de simulación MixTrafSIM (Tránsito mixto) el cual ayudó a obtener el tiempo perdido al comienzo de la marcha y el flujo de saturación.

Se obtuvo como resultados que el flujo de saturación, cuando no hay presencia de motocicletas es equivalente a 1.88s, mientras que para el caso con motocicletas es de 1,89s. Por lo que se concluye que la presencia de las motocicletas no presenta una afectación significativa. (Songsakdi, Rongviriyapanich. & Sompakdee, 2010)

Powell utilizó una simulación para representar el comportamiento de las motocicletas en las intersecciones semaforizadas en Malasia, Tailandia e Indonesia, trabajando simulaciones macroscópicas de primer orden y regresiones lineales por mínimos cuadrados, obteniendo que la capacidad en función de la cola vehicular y el volumen de motocicletas no fue excedida durante los periodos observados, por lo que no fue posible estimar el valor de dicha capacidad.

La simulación se realizó con el fin de predecir el comportamiento de las motocicletas en semáforos. Una modificación en la simulación macroscópica de primer orden fue usada para representar el comportamiento de las motocicletas y un análisis de regresión múltiple se utilizó para explicar las imprecisiones resultantes de esta técnica. (Powell, 1999)

kazushi & Chu Cong (2001) trabajaron en el análisis de los efectos de la motocicleta en proporción al flujo de saturación para las intersecciones semaforizadas de los países en vía de desarrollo Tailandia y Vietnam, enfocando los estudios en las ciudades de Hanói y Bangkok, respetivamente. Los parámetros de estudio de la investigación son basados en los efectos de la demanda de motocicletas y el comportamiento del flujo de saturación, en función de los tiempos promedios perdidos en la puesta en marcha de la corriente vehicular.

Se trabajó un modelo de regresión lineal para variables del flujo de saturación (tiempo de arranque, longitud recorrida hasta la línea de detención) y un modelo no lineal para comparar flujos de saturación de motocicletas vs automóviles según el ancho de carril. Se obtiene el factor de

equivalencia en automóviles para motocicletas (0,24 para Hanói y 0,18 para Bangkok). (kazushi, & Chu Cong, 2001)

3.2. Estudios a nivel nacional

A nivel nacional se encontró un estudio en la ciudad de Medellín el cual tomo como guía los estudios realizados por (Chu Cong, 2001, 2005, 2009) y (Anand 1999) obteniendo los siguientes resultados para el factor de moto equivalencia. (Yarce, 2015)

Tabla 3.

Factor-moto equivalente.

Tipo	UEM	UEM
	Carrera 63	Carrera 64
Motocicleta	1	1
Auto pequeño	2.4	2.3
Auto grande	2.3	2.8
camión	3.5	3
Mini bus	-	-
Bus	-	3.7

Fuente: Adaptado del estudio de Medellín de Yuli Gabriela Yarce Marín.

3.3. Problemática local

Una de las principales problemáticas en el área metropolitana de Bucaramanga es el evidente crecimiento acelerado del parque automotor, en especial las motocicletas, que afectan la

movilidad y el flujo vehicular pues actualmente la población en su gran mayoría se beneficia con el uso de este transporte para desarrollar sus actividades diarias. Se puede evidenciar según la Asociación Nacional de Industriales de Colombia (ANDI) que el mercado de motocicletas en Colombia creció 47% durante 2010 y 2018, al pasar de 393.440 a 576.360 unidades. En 2018 se ensamblaron en el país 527.978 motocicletas nuevas, que representaron un crecimiento del 12,1% en comparación con el año inmediatamente anterior (ANDI, 2019). Para el año 2020 en enero se vendieron 52.055 unidades, lo que representó un crecimiento del 10.1% frente el mismo mes del 2019 que fue de 47.798 unidades (Avendaño, 2020). Este crecimiento se debe a la facilidad de obtener un crédito por parte de las entidades correspondientes ya sea de un banco o un concesionario.

Igualmente, las motocicletas por sus dimensiones y facilidad de maniobra, realizan en la malla vial acciones de alto riesgo poniendo en peligro no solo la propia integridad de quien la conduce, sino la de los demás usuarios de la vía. Según la norma de tránsito la motocicleta debe ocupar un solo carril, no obstante, por falta de cultura vial, por la gran cantidad existente y carencia de capacidad del sistema vial de Bucaramanga en un medio congestionado de tránsito, estos velocípedos ocupan el carril de circulación compartido con los demás vehículos.

En los conteos de tránsito, que se hacen para realizar estudios de capacidad vial, la metodología no contempla las motocicletas como vehículo liviano, pero dada la cantidad existente en Colombia, es preciso y necesario establecer referencias frente al vehículo liviano, con el propósito de medir su impacto frente al tránsito pesado, especialmente en carreteras. De otra parte, los estudios de congestionamiento deben contar con aforos de estos velocípedos, pero su contabilización no es propiamente la de un vehículo como tal, por lo que se requiere establecer

equivalencias, de la misma manera como el Highway Capacity Manual, establece equivalencias de autos a buses, camiones.

4. Marco Teórico

4.1. Ingeniería de tránsito

Es aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico la operación del tránsito por las calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte. (Cal, Reyes & Cárdenas, 2007).

4.2. Flujo vehicular

Es aquel que describe la forma como circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar el nivel de la eficiencia de la operación. (Cal, Reyes & Cárdenas, 2007).

4.3. Aforos

Es una muestra de los volúmenes para el periodo en el que se realiza y tiene como objetivo cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o intersección. (Vargas, Rincón & González, 2012).

4.4. Congestión

En general es la capacidad del número máximo de entidades que pueden ser procesados por unidad de tiempo. De allí que, la congestión ocurre porque el sistema tiene una capacidad limitada. (Cal, Reyes & Cárdenas, 2007).

4.5. Volumen vehicular

Es el número de vehículos que pasan por un punto durante un intervalo de tiempo. (Cal, Reyes & Cárdenas, 2007).

4.6. Nivele de servicio

Es un término de amplio sentido, que abarca un número ilimitado de situaciones de tráfico que pueden presentarse en una carretera dada, con varios volúmenes de tránsito. Es una expresión cualitativa del funcionamiento de un tramo de carretera, considerando los efectos de una serie de factores que comprenden la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tráfico, la libertad de maniobra, la seguridad, el confort y los costos de operación (Wilson, O.,1987).

De los factores que afectan el Nivel de Servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que correspondan a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc. (Highway Capacity Manual, 2000).

El Manual de Capacidad Vial HCM 2000 ha establecido seis Niveles de Servicio denominados: A, B, C, D, E, y F, que van del mejor al peor, los cuales se definen según que las condiciones de operación sean de circulación continua o discontinua.

Tabla 4.

Niveles de servicio.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
----------	----------	----------	----------	----------	----------

Fuente: HCM 2000

4.7. Tasa de flujo

Es la frecuencia a la cual pasan los vehículos (o personas) durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente (Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J., 2007, p. 169).

4.8. Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular. (Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J., 2007, p. 172)

4.9. Factor horario de máxima demanda (FHMD)

Se denomina factor horario de máxima demanda FHMD, a la relación entre el volumen horario de máxima demanda VHMD, y el volumen máximo $Q_{m\acute{a}x}$, que se representa durante un periodo dado dentro de dicha hora (Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J., 2007, pág. 179). Matemáticamente se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N * Q_{m\acute{a}x}}$$

Donde:

N: número de períodos durante la hora de máxima demanda

Los períodos dentro de la hora de máxima demanda pueden ser de 5, 10 ó 15 minutos, utilizándose este último con mayor frecuencia, en cuyo caso el factor de la hora de máxima demanda es (pág. 180):

$$FHMD_{15} = \frac{VHMD}{4 * Q_{15_{máx}}}$$

El factor horario de máxima demanda es un indicador de las características del flujo de tránsito en periodos máximos. Indica la forma como están distribuidos los flujos máximos durante la hora. Su mayor valor es la unidad, lo que significa que existe una distribución uniforme de flujos máximos durante toda la hora, valores bastante menores a la unidad indican concentraciones de flujos máximos en períodos cortos dentro de la hora.

5. Metodología

Para el desarrollo del estudio se usó la metodología expresada por (Chu Cong, et al., 2009) “Development of Motorcycle Unit (MCU) For Motorcycle-Dominated Traffic” el cual dice que hay muchas investigaciones sobre el flujo de tráfico por automóviles de cuatro ruedas en los países desarrollados, se realizan pocas investigaciones sobre el flujo de tráfico dominado por motocicletas en los países en desarrollo. Por lo tanto, este estudio investiga la metodología de cálculo de Unidades Equivalentes de Motocicletas (UEM) en tramos de carreteras de vías urbanas en ciudades dependientes de motocicletas. El método de las Unidades de Automóviles de Pasajeros de (Chandra et al. 2003) y (Anard et al. 1999) están desarrolladas para calcular la (UEM) de vehículos en un flujo de tráfico mixto considerando las características dinámicas de los vehículos en movimiento, como la velocidad y el espacio efectivo de un vehículo sujeto y las motocicletas

circundantes. El espacio efectivo de cada tipo de vehículos se calcula considerando las influencias de la velocidad y el tamaño físico de los vehículos circundantes. El modelo de propuesta se estima mediante el uso de datos microscópicos de motocicletas recopilados a partir de imágenes de video. Las posiciones de las motocicletas con respecto a los eventos de tiempo se calculan mediante las coordenadas de la pantalla y se convierten en coordenadas de la carretera mediante la Estimación de velocidad del software Kinovea.

Del mismo modo se empleó los siguientes pasos para el desarrollo de la metodología:

1. Análisis de la localización de los puntos y la hora para los aforos correspondientes en el tramo escogido.
2. Creación del formato para la realización del aforo.
3. Tipos de vehículos aforados.
4. Realización de los aforos correspondientes a 3 estaciones de cobertura, durante las horas de mayor congestiónamiento.
5. Descripción de los Niveles de servicio vehicular, de acuerdo con la observación visual y mediante cálculos basados en los datos de campo.
6. Estudio de volúmenes vehiculares y análisis de congestiónamiento con base en los aforos y en velocidades de operación de los vehículos.
7. Análisis y determinación del factor de conversión.
8. Conclusiones y recomendaciones.

5.1. Análisis de la localización de los puntos y la hora para los aforos correspondientes en el tramo escogido

Para identificar los puntos donde se realizaron los aforos, se analizó el tráfico durante las horas de mayor flujo vehicular del día. El día de la semana y la hora, se escogieron basándonos en la información que brinda la base de datos de la Dirección de Transito Bucaramanga.

5.2. Creación del formato para la realización del aforo

Se creo el formato para la toma de datos del aforo, con el fin de poder diligenciar la información requerida y así identificar las horas más críticas que presentan mayor congestiónamiento vehicular, para poder determinar el factor de conversión.

Figura 2.

Formato de aforo hora pico.

FORMATO DE AFORO HORA PICO - VOLUMENES DE TRANSITO SECTOR DE LA CARRERA 27 ENTRE LA PUERTA DEL SOL Y LA CALLE 45.										
Fecha: (D.M.A.)	Hora Inicio:		Localización:				Hora:			
Día:	Hora Final:						De:			
Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	C-2P	C-2G	C-3-4	CS	≥ C6	MOTOS
15										
30										
45										
60										
15										
30										
45										
60										
15										
30										
45										
60										
TOTALES										
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL					UIS			CONTEO DE CAMPO PARA ESTUDIO		
INSTRUMENTOS:		PERSONAS:		AFORADORES						
EQUIPO:		CANTIDAD:								
MATERIALES:		OTROS:								
OBSERVACIONES:		FECHA:								
		LUGAR:								
		OTRO:								

Nota: Volúmenes de transito sector de la carrera 27 entre la puerta del sol y la calle 45. Luis Davis Arévalo.

5.3. Tipos de vehículos aforados

Vehículos que se tuvieron en cuenta:

Figura 3.

Categorización de vehículos



Fuente: Elaboración propia.

5.4. Realización de los aforos correspondientes a las tres estaciones de cobertura, durante las horas de mayor congestión.

Para el desarrollo del aforo en cada punto acordado, se buscaron personas con disposición y conocimiento del tema, así mismo, se realizaron algunos encuentros con el fin de esclarecer dudas y reforzar conocimientos de los aforadores.

Tabla 5.

Logística de aforadores.

EST	Dirección	Hora	Nombre
1	Crr 27 #	6:00a.m. a	Aforador 1.
	45	9:00a.m	Aforador 2.
			Aforador 3.
2	Crr 27 #	6:00a.m. a	Aforador 4.
	53	9:00a.m	Aforador 5.
			Aforador 6.
3	Crr 27 #	6:00a.m. a	Aforador 7.
	58	9:00a.m	Aforador 8.
			Aforador 9

Fuente: Creación propia.

A continuación, se muestra de una forma ordenada el resultado del aforo.

Figura 4.

Formato de aforo de la estación Nª1

FORMATO DE AFORO HORA PICO . VOLUMENES DE TRANSITO SECTOR DE LA CARRERA 27 ENTRE LA PUERTA DEL SOL Y LA CALLE 45.											
Fecha: (D.M.A.)	14/10/2020	Hora Inicio:	6:00 a. m.	Localización	Crra 27 # 45 sentido Sur-Norte					Hoja:	1
Día:	Miercoles	Hora Final:	9:00 a. m.							De:	1
Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	≥ C6	MOTOS	
15	38	73		1	5	5				90	
	22	46		3	5	3				63	
	32	86	1	5	10	1				110	
30	12	33		1	4					83	
	23	59		3	1	2	2			60	
	31	89		2		4	2			162	
45	25	51		5	3					111	
	48	115	3	3	6	1				129	
	32	98		4	6	1				111	
60	53	153		3	5					209	
	36	102	1	4	10	1				164	
	61	144		1	10	2				268	
15	31	96		4	8					127	
	49	163		1	9	2				171	
	23	114	1	2	4	1				128	
30	51	155		5	7	2				215	
	52	160		3	7	1				203	
	31	101	1	4	6	2				166	
45	32	165		4	2	2				196	
	32	92		6	7	3				127	
	36	153		3	11	1				201	
60	32	126		6	6	1				135	
	41	111		3	9	1				156	
	53	195		2	8	3				271	
15	49	182		2	5	2				295	
	29	103		3	9	2				146	
	33	170		1	9	3				171	
30	28	108		5	7	2				140	
	31	145		1	10	3				130	
	61	126	1	2	6	3				101	
45	49	93		5	8	2				165	
	60	173		3	14					189	
	56	169		2	19	1				108	
60	46	102		4	10	1				125	
	51	183	1	1	14					153	
	31	91		2	5	1				141	
TOTALES	1400	4325	9	109	265	59	4	0	0	5520	
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL					UIS			CONTEO DE CAMPO PARA ESTUDIO			
JEFE GRUPO	Eliberto Carreno		ASISTENTE		AFORADORES			Aforador 1. Aforador 2. Aforador 3.			
FIRMA:			FIRMA:								
FECHA:	14/10/2020		FECHA:								
ELABORÓ			REVISÓ								

Nota: Volúmenes de transito sector de la carrera 27 entre la puerta del sol y la calle 45. Luis Davis Arévalo.

Figura 5.

Formato de aforo de la estación N^o2

FORMATO DE AFORO HORA PICO . VOLUMENES DE TRANSITO SECTOR DE LA CARRERA 27 ENTRE LA PUERTA DEL SOL Y LA CALLE 45.											
Fecha: (D.M.A.)	14/10/2020	Hora Inicio:	6:00 a. m.	Localización	Crra 27 # 53 sentido Sur-Norte	Hoja:					1
Día:	Miércoles	Hora Final:	9:00 a. m.				De:				
Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	≥ C6	MOTOS	
15	15	98	3	1	6	4				74	
	14	94		4	4	4	1			121	
	16	82		2	1	1				120	
30	21	118	4	1	2	1				123	
	30	127		3	3	2				136	
	32	109		2	2					147	
45	29	136		5	3	2				268	
	27	129		1	4	1				200	
	36	139		8	3	2				257	
60	26	115		2	10	3				229	
	37	110		1	13	3				134	
	21	106		1	7	1				156	
15	32	109		2	5	2	1			144	
	33	107		7	7					91	
	29	115		2	3					123	
30	24	105		5	6	4				124	
	29	101		1	4					135	
	32	98		2	3					138	
45	49	131	1	4	8	1				150	
	39	135	1	4	4					160	
	33	145			5	1				174	
60	38	133		6	6	1				189	
	37	139		4	8	4	1			160	
	35	148		1	5	6				161	
15	29	121	2	1	7	2				150	
	38	127		3	8	3				99	
	31	123		2	5	2				98	
30	35	111		5	3					120	
	30	108			6	2				123	
	37	102		2	7	1				131	
45	27	98		5	6					133	
	29	102		1	8	1				140	
	33	100		2	10	2				153	
60	29	94		6	11					123	
	33	83		2	13	2	1			148	
	27	97		2	9	1				117	
TOTALES	1092	4095	11	100	215	59	4	0	0	5249	
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL					UIS			CONTEO DE CAMPO PARA ESTUDIO			
JEFE GRUPO	Jeyson Cruz		ASISTENTE								
FIRMA:			FIRMA:			AFORADORES		Aforador 4. Aforador 5. Aforador 6.			
FECHA:	14/10/2020		FECHA:								
ELABORÓ			REVISÓ								

Nota: Volúmenes de transito sector de la carrera 27 entre la puerta del sol y la calle 45. Luis Davis Arévalo.

Figura 6.

Formato de aforo de la estación N°3

FORMATO DE AFORO HORA PICO . VOLUMENES DE TRANSITO SECTOR DE LA CARRERA 27 ENTRE LA PUERTA DEL SOL Y LA CALLE 45.											
Fecha: (D.M.A.)	14/10/2020	Hora Inicio:	6:00 a. m.	Localización	Crra 27 # 53 sentido Sur-Norte					Hoja:	1
Día:	Miercoles	Hora Final:	9:00 a. m.						De:	1	
Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	≥ C6	MOTOS	
15	18	43	2	2	4		1			64	
	20	39		5	3					92	
	21	45	2	1	1		1			86	
30	17	42	0	1						80	
	26	46	1	5	4		1			103	
	26	54	2	3	5	7				64	
45	17	43	5	8	5		1			110	
	26	73		1	5					50	
	21	75		8	7		1			237	
60	35	61		3	12					140	
	34	62		0	15		2			155	
	39	98		2	10					197	
15	24	33		2	7		1			104	
	26	96		6	7		1			167	
	28	71		2	4	1	1			215	
30	31	75		5	6	1	1			170	
	23	69		3	6					148	
	29	61	1	2	2	2				151	
45	37	72		1	9	2	2			125	
	32	86		6	5	1				115	
	28	84		1	5	2				99	
60	25	65	1	7	8	1	1			145	
	29	74		4	6	1	1			153	
	34	69			6					180	
15	38	71		1	5	1	1			135	
	36	63		2	9	2	1			140	
	29	47		3	8	3	2			170	
30	31	54		6	4	1				125	
	39	33		1	6	3				140	
	34	46	1	2	8	3	1			135	
45	27	49		7	7	1				120	
	23	56		2	10	1	2			133	
	19	34		2	11		1			115	
60	18	47		5	13	1				110	
	26	69		3	14	1	2			97	
	29	75		1	6	1				115	
TOTALES	995	2180	15	113	243	36	25	0	0	4685	
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL					UIS		CONTEO DE CAMPO PARA ESTUDIO				
JEFE GRUPO	Iatiana Gaviria		ASISTENTE			AFORADORES		Aforador 7. Aforador 8. Aforador 9.			
FIRMA:			FIRMA:								
FECHA:	14/10/2020		FECHA:								
ELABORÓ			REVISÓ								

Nota: Volúmenes de transito sector de la carrera 27 entre la puerta del sol y la calle 45. Luis Davis Arévalo.

6. Descripción de los Niveles de servicio vehicular, de acuerdo con la observación visual y mediante cálculos basados en los datos de campo.

Los niveles de servicio han sido definidos a través de la valoración de las condiciones de circulación existentes dentro de la corriente de tráfico (HCM 2010) siendo A cuando existe al menos un único vehículo en la vía, dando como resultado un tránsito más fluido, así sucesivamente pasando por B, C, D, E y finalmente llegando a F que corresponde a una absoluta congestión en la vía, dificultando el flujo vehicular.

A partir de ahí, pasamos a describir los niveles de servicio (NDS) de acuerdo con la observación visual y mediante los cálculos basados en los datos obtenidos en el aforo.

6.1. Clasificación de niveles de servicio

6.1.1. Nivel de servicio A.

Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades. La demora de los conductores no es mayor al 35% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 490 veh/hr (HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2000).

6.1.2. Nivel de servicio B.

Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito. La demora de los conductores no es mayor al 50% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 780 veh/hr (HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2000).

6.1.3. Nivel de servicio C.

Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad. La demora de los conductores alcanza el 65% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 1,190 veh/hr (HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2000).

6.1.4. Nivel de servicio D.

Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar. La demora de los conductores es cercana al 80% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 1,830 veh/hr (HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2000).

6.1.5. Nivel de servicio E.

Flujo inestable, suceden pequeños congestionamientos. La demora de los conductores es mayor al 80% del total del tiempo de viaje (HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2000).

6.1.6. Nivel de servicio F.

Flujo forzado, condiciones de “pare y siga”, congestión de tránsito (HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2000).

Tabla 6.

Calificativos para los niveles de servicio.

<i>NIVELES DE SERVICIO</i>	
<i>NDS</i>	<i>Calificativo</i>
<i>A</i>	<i>Excelente</i>
<i>B</i>	<i>Bueno</i>

<i>C</i>	<i>Aceptable</i>
<i>D</i>	<i>Muy regular</i>
<i>E</i>	<i>Malo</i>
<i>F</i>	<i>Pésimo</i>

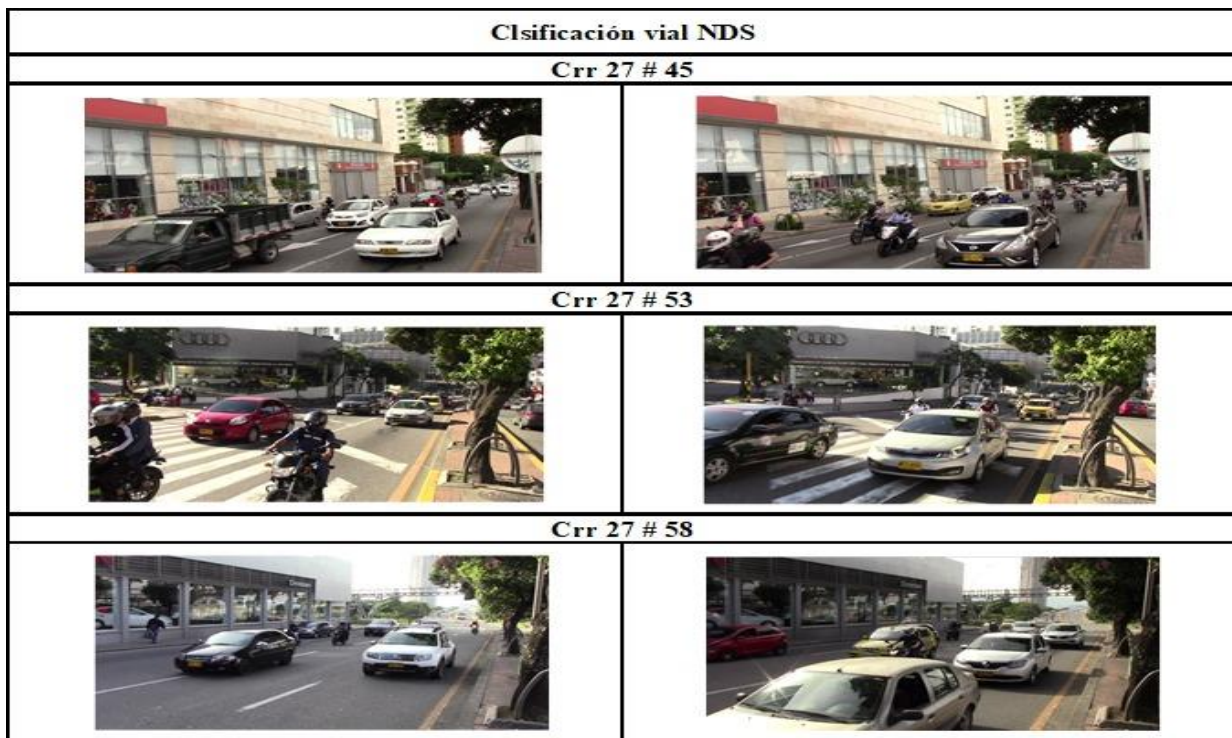
Fuente Ing. Luis David Arévalo.

6.2. Descripción de los Niveles de servicio vehicular, de acuerdo con la observación visual

Ahora, teniendo el concepto claro de lo que significa cada nivel de servicio, pasamos hacer la observación visual del tramo en estudio, la carrera 27 con calle 45 hasta la calle 58.

Figura 7.

Muestra del congestionamiento en la carrera 27.



Fuente: Creación propia.

Clasificación: Nivel de servicio D

Como se puede apreciar en las imágenes, la calle 45 y calle 53 se ve representada por una circulación de flujo lento, la velocidad se ve afectada por otros y la libertad de maniobra es restringida, el nivel de comodidad y conveniencia es poco, por tanto, se otorga una clasificación D.

Clasificación: Nivel de servicio C

En la calle 58 se ve un flujo vehicular aceptable, aun con un poco de dificultades, pero en comparación al NDS C se puede decir que el conductor tendrá más posibilidades de maniobrar, por esto se otorga una clasificación C.

6.3. Descripción de los Niveles de servicio vehicular, mediante cálculos basados en los datos de campo

Se escogió la clasificación IV teniendo en cuenta el rango de velocidades para el tramo donde se realizaron los aforos.

Tabla 7.

Niveles de servicio para vías urbanas

Clasificación	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Rango	90-70	70-55	55-50	55-40
velocidades				
Flujo libre	80	65	55	45
<i>NDS</i>		<i>Promedio de velocidades</i>		

<i>A</i>	> 72	> 59	> 50	> 41
<i>B</i>	> 56-72	> 46-59	> 39-50	> 32-41
<i>C</i>	> 40-56	> 33-46	> 28-39	> 23-32
<i>D</i>	> 32-40	> 26-33	> 22-28	> 18-23
<i>E</i>	> 26-32	> 21-26	> 17-22	> 14-18
<i>F</i>	≤ 26	≤ 21	≤ 17	≤ 14

Fuente: Adaptado (HCM2000)

De acuerdo con los resultados obtenidos en cada estación de investigación, cada nivel de servicio se clasifica y analiza de acuerdo con la velocidad obtenida en campo, para el primer punto se tiene un promedio de velocidad igual a 27,4 [km/h], pasando al segundo punto, su velocidad promedio es de 25,6 [km/h] y finalmente el tercer punto tiene un valor de 28,9 [km/h].

Con estos valores y con la tabla de velocidades (ver tabla 3) del HCM 2000 se puede definir el nivel de servicio para vías urbanas, en este estudio se tiene que para los tres puntos investigados el NDS es tipo C como indica la tabla 4.

Tabla 8.

Determinación de los NDS por medio de la velocidad.

Clasificación (IV)		
Punto	Velocidad promedio (Km/h)	NDS
1	27,4	C
2	25,6	C
3	28,9	C

Fuente: Elaboración propia.

7. Estudio de volúmenes vehiculares y análisis de congestiónamiento con base en los aforos

7.1. Estudio de volúmenes vehiculares y análisis de congestiónamiento.

El aumento no planificado de los volúmenes vehiculares, puede afectar la búsqueda insaciable de una sostenibilidad vial, donde exista una mitigación de accidentes a causa del incremento vehicular acelerado y la falta de infraestructura vial; esto también se ha reflejado en situaciones donde el volumen de tránsito en uno o más puntos de una vía excede el volumen máximo que puede pasar por ellos.

Para tener una estimación de volúmenes, tasas de flujo, demanda capacidad y otras variables es necesario realizar aforos o conteos.

7.1.1. Definiciones técnicas.

A continuación, en la tabla 9, se muestran las palabras claves que se va a emplear en este proyecto.

Tabla 9 *Definiciones a utilizar.*

<i>DEFINICIONES TECNICAS</i>	
<i>VHMD</i>	Volumen horario de máxima demanda.
<i>FHMD</i>	Factor horario de máxima demanda.
<i>Q15</i>	Tasa de flujo de 15 minutos.
<i>HCM</i>	Highway Capacity Manual. Manual de capacidad Vial.

Fuente: Elaboración propia.

7.1.2. Cálculo de volúmenes y flujo vehiculares en función del FHMD.

Para el desarrollo de la investigación y posteriores cálculos, se hizo necesario realizar un aforo en los determinados puntos de estudio, los cuales fueron en la carrera 27#45, carrera 27#53, carrera 27#58 en el sentido Sur-Norte, todos durante el mismo día miércoles 14 de Octubre del 2020 y durante las horas en las que se presentara mayor congestión siendo estas de 6:00am hasta las 9:00am, todo esto con el fin de poder tener los datos suficientes y necesarios para determinar el volumen horario de máxima demanda (VHMD), el factor horario de máxima demanda (FHMD) y la tasa de flujo cada 15 minutos (Q15) que nos permite identificar los congestionamientos vehiculares.

El FHMD entre más se acerca a 1, significa que el flujo de vehículos es constante y en áreas urbanas generalmente oscilan entre 0,80 y 0,98. Los valores más bajos significan mayor variabilidad del flujo dentro de la hora en cuestión, y valores más altos significan flujo uniforme. [9]. Para determinar el FHMD se utiliza la siguiente formula.

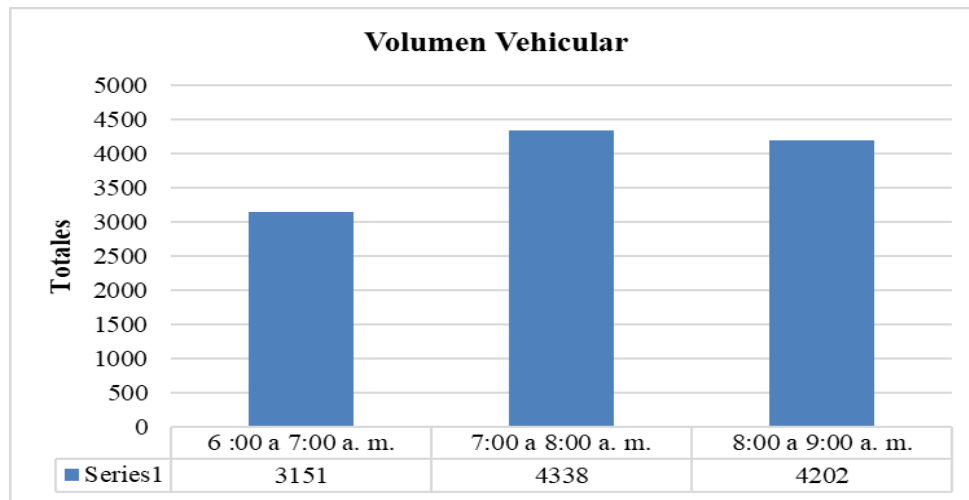
$$FHMD = \frac{VHMD}{4 * Q15_{Máx}}$$

7.1.2.1. Cálculo de volúmenes para la primera estación.

De la primera estación se halla el valor de máxima demanda (VHMD), tomando la hora más crítica que fue de 7:00 a.m. a 8:00 a.m. dando como resultado al volumen horario de 4.338 Vehículos mixtos/hora.

Figura 8.

VHMD de la primera estación.



Nota: Elaboración propia.

Después de obtener el valor de VHMD de la primera estación de estudio, identificamos el Q15max durante esa hora, el cual está en la franja de la hora 7:30 y tiene una cantidad de 1.172 Vehículos mixtos/hora.

Tabla 10.

VHMD de la primera estación.

VHMD y tasa de flujo periodos de 15 minutos	
Hora(am)	Q15
7:15	934
7:30	1172
7:45	1073
8:00	1159
VHMD	4338

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación del FHMD se usa la siguiente expresión matemática:

$$FHMD = \frac{VHMD}{4 * Q15_{Máx}}$$

$$FHMD = \frac{4338 \text{ veh/hora}}{4 * 1172 \text{ veh}}$$

$$FHMD = 0.93$$

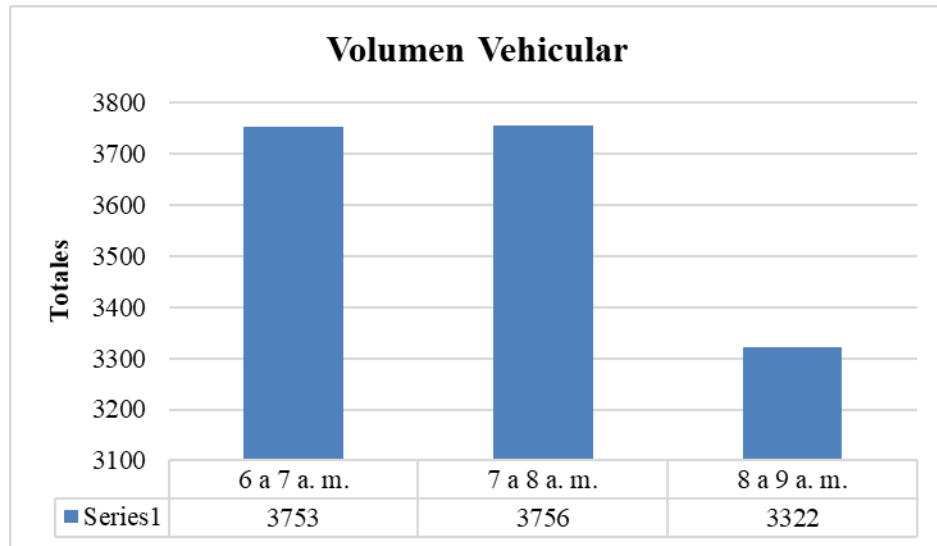
Teniendo en cuenta las condiciones dadas anteriormente donde se establecen los rangos para el FHMD para vías urbanas, se puede deducir que la primera estación tiene un calificativo aceptable, puesto que se encuentra en la franja 0.98-0.80, esto indica que el flujo de vehículos es uniforme.

7.1.2.2. Cálculo de volúmenes para la segunda estación.

Para este caso la hora más crítica es de 7:00am a 8:00am ya que los puntos se encuentran sobre la misma carrera 27, variando el mayor volumen de máxima demanda (VHMD) teniendo un valor de 3.756 vehículos mixtos/hora.

Figura 9.

VHMD de la segunda estación



Nota: Elaboración propia.

Luego de obtener el valor de VHMD de la segunda estación de estudio, identificamos el Q15max durante esa hora, el cual está en la franja de la hora 8:00am y tiene una cantidad de 1.082 Vehículos mixtos/hora.

Tabla 11.

VHMD de la segunda estación

VHMD y tasa de flujo periodos de 15 minutos	
Hora(am)	Q15
7:15	818
7:30	811

7:45	1045
8:00	1082
VHMD	3756

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación del FHMD se usa la siguiente expresión matemática:

$$FHMD = \frac{VHMD}{4 * Q15_{Máx}}$$

$$FHMD = \frac{3756 \text{ veh/hora}}{4 * 1082 \text{ veh}}$$

$$FHMD = 0.87$$

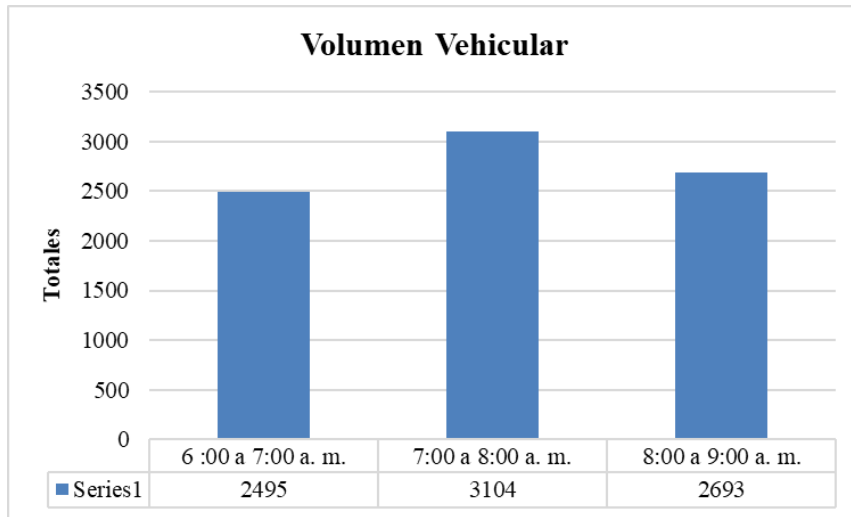
Teniendo en cuenta las condiciones dadas anteriormente donde se establecen los rangos para el FHMD para vías urbanas, se puede deducir que la primera estación tiene un calificativo aceptable, puesto que se encuentra en la franja 0.98-0.80, esto indica que el flujo de vehículos es uniforme.

7.1.2.3. Cálculo de volúmenes para la tercera estación.

En la tercera estación la hora más crítica fue de 7:00am a 8:00am ya que los puntos se encuentran sobre la misma carrera 27, variando el mayor volumen de máxima demanda (VHMD) teniendo un valor de 3.104 vehículos mixtos/hora.

Figura 10.

VHMD de la segunda estación.



Nota: Elaboración propia.

Luego de obtener el valor de VHMD de la tercera estación de estudio, identificamos el Q15max durante esa hora, el cual está en la franja de la hora 8:00am y tiene una cantidad de 810 Vehículos mixtos/hora.

Tabla 12.

VHMD de la segunda estación.

VHMD y tasa de flujo periodos de 15 minutos	
Hora(am)	Q15
7:15	796
7:30	786

7:45	712
8:00	810
VHMD	3104

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación del FHMD se usa la siguiente expresión matemática:

$$FHMD = \frac{VHMD}{4 * Q15_{Máx}}$$

$$FHMD = \frac{3104 \text{ veh/hora}}{4 * 810 \text{ veh}}$$

$$FHMD = 0.96$$

Teniendo en cuenta las condiciones dadas anteriormente donde se establecen los rangos para el FHMD para vías urbanas, se puede deducir que la primera estación tiene un calificativo excelente, puesto que se encuentra en la franja 0.98-0.80, esto indica que el flujo de vehículos es uniforme.

“Valores bastante menores que la unidad indican concentraciones de flujos máximos en periodos cortos”. (Cal, Mayor, Cárdenas, 2007)

8. Análisis y determinación del factor de conversión.

A partir del método establecido por Chu Cong en el año 2009 se presenta un paso a paso para el cálculo del factor de conversión de la unidad equivalente motocicleta (UEM).

Este método se desarrolla basándose en la velocidad y el espaciamiento efectivo de los vehículos.

8.1. Localización de la sección vial

Se identificó una zona que presentara mayor afluencia de motocicletas en el área metropolitana de Bucaramanga y se clasificó dentro de esta una sección vial a estudiar, donde el recorrido de los vehículos no se viera influenciado por comportamientos inusuales tales como centros comerciales, estaciones de bus u otros que afecten el flujo vehicular, de igual manera, se verificó que la pendiente del tramo analizado debe permanecer casi constante para que no afectara la velocidad de los vehículos.

8.2. Procesamiento de registro video gráfico

El video debe corresponder a la hora pico que se estableció en el volumen horario de máxima demanda (imagen 8). Con ayuda del registro video gráfico se procede a determinar el valor del espaciamiento efectivo y la velocidad efectiva de cada vehículo a estudiar.

Para el procesamiento de los videos se usó el software Kinovea, puesto que es una herramienta útil, práctica de maniobrar y gratuita, además, posee un conjunto de funciones que permiten capturar, ralentizar, comparar, anotar y medir. Así mismo, permite seguir la trayectoria

que lleva un objeto, da la opción de comparar y sincronizar dos videos al tiempo desde diferentes puntos de vista. (Visualbeta, 2020)

8.2.1. Procesamiento manual-automático

El video debe grabarse enfocándose en el análisis visual de la sección vial para comprender la longitud de los vehículos, el espaciamiento entre ellos y la cantidad de carriles en la vía de estudio.

Figura 11.

Evidencia registro foto gráfico.



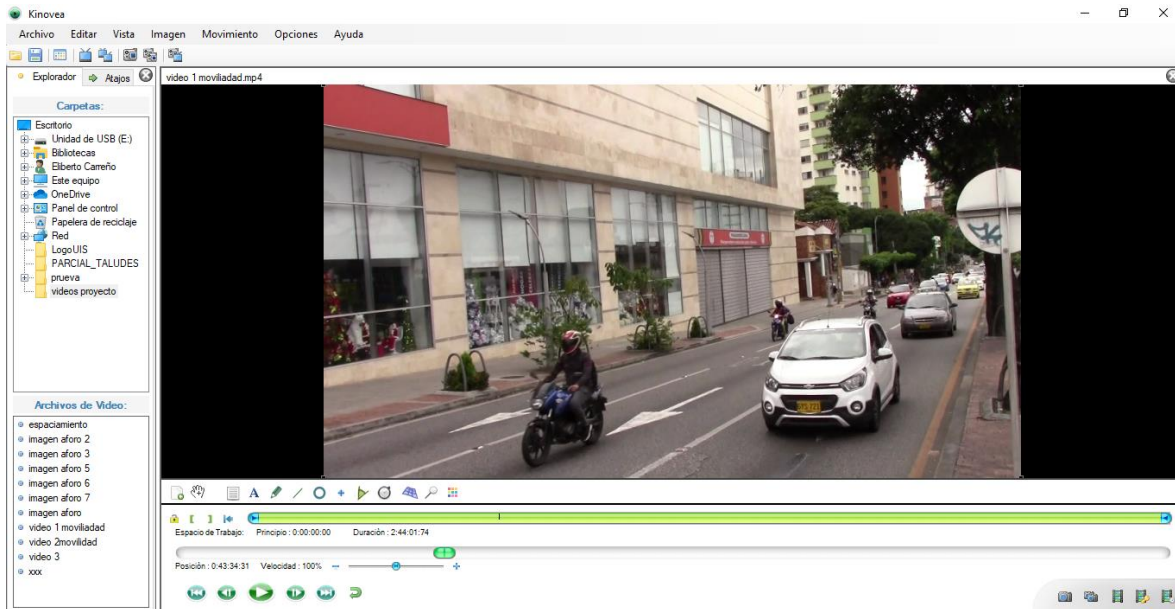
Fuente: Elaboración propia.

Para el procesamiento de los videos se usó el software Kinovea, puesto que es una herramienta útil, práctica de maniobrar y gratuita, además, posee un conjunto de funciones que permiten capturar, ralentizar, comparar, anotar y medir. Así mismo, permite seguir la trayectoria

que lleva un objeto, da la opción de comparar y sincronizar dos videos al tiempo desde diferentes puntos de vista.

Figura 12.

Software Kinovea



Fuente: Elaboración propia.

8.3. Cálculo de espacio efectivo

El espacio efectivo de un vehículo se define como el espacio necesario que necesita un vehículo para mantener su velocidad actual. En otras palabras, ese es el espacio ocupado y necesario del vehículo que se mueve con la velocidad dada en una calzada. Se calcula por el producto del ancho efectivo y el largo efectivo. Por lo tanto, ese valor depende de la velocidad del vehículo, el modo y otros vehículos adyacentes (Chu Cong & otros). Debido a que las motocicletas predominan sobre el flujo de tráfico, el ancho efectivo y la longitud efectiva se estiman por la distancia entre vehículos y motocicletas como se muestra a continuación:

$$S_k = S_{w,k} \times S_{l,k}$$

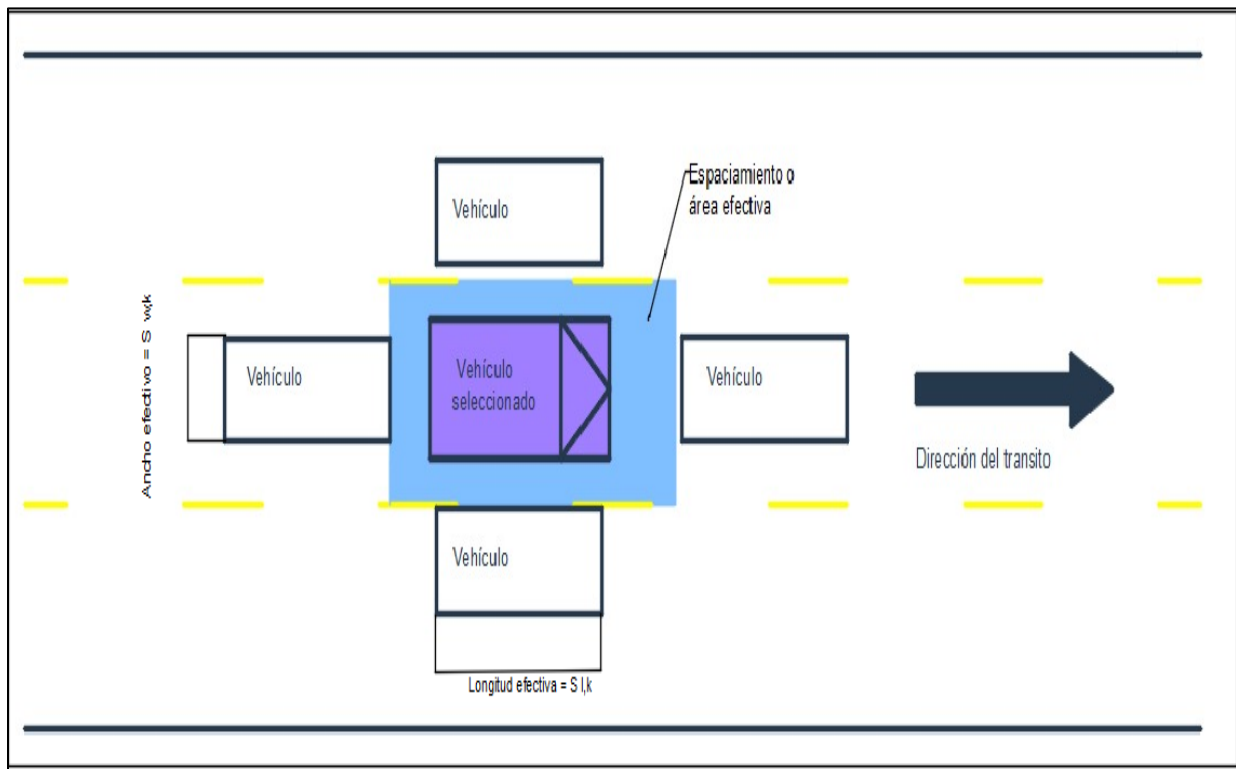
S_k : Espacio efectivo de un tipo de vehículo k, (m)

$S_{w,k}$: Anchura efectiva de un tipo de vehículo en marcha k (m)

$S_{l,k}$: Longitud efectiva de un tipo de vehículo en marcha k (m)

Figura 13.

Espacio efectivo.

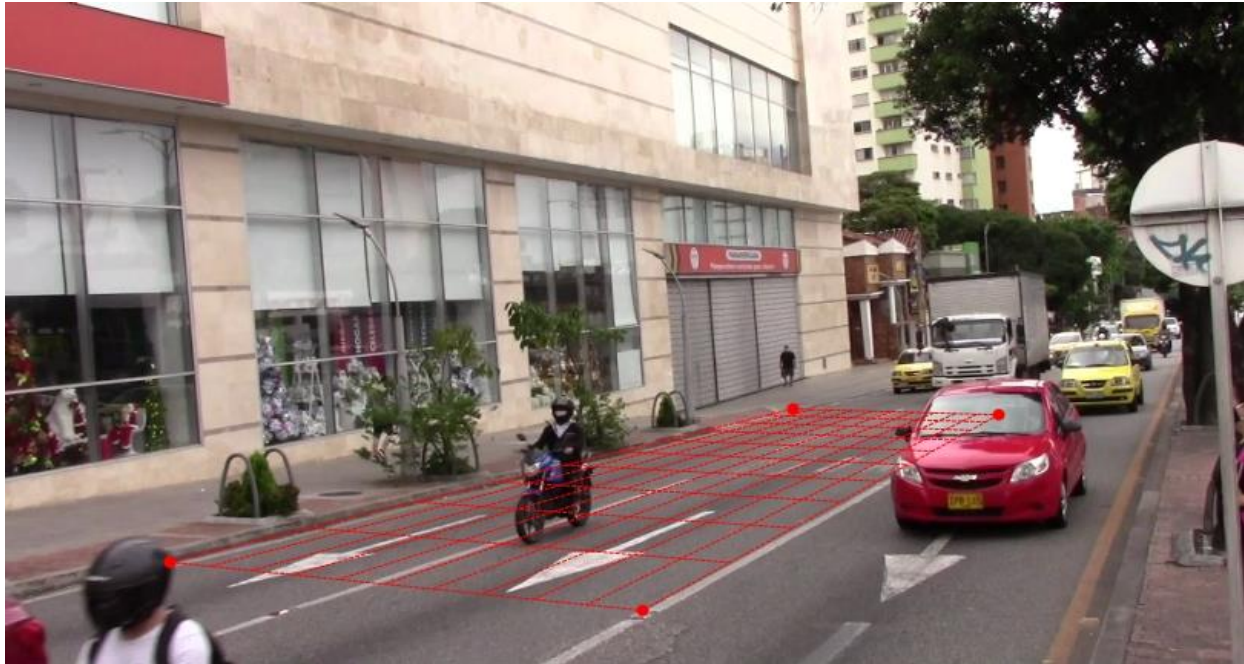


Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el área efectiva se utilizó el software Kinovea permite usar la opción cuadrícula de medición, para esto se deben tomar datos de campo como el ancho del carril o algún objeto que permita parametrizar el ancho de este mismo. (Visualbeta, 2020).

Figura 14.

Generación de cuadrícula para medición.

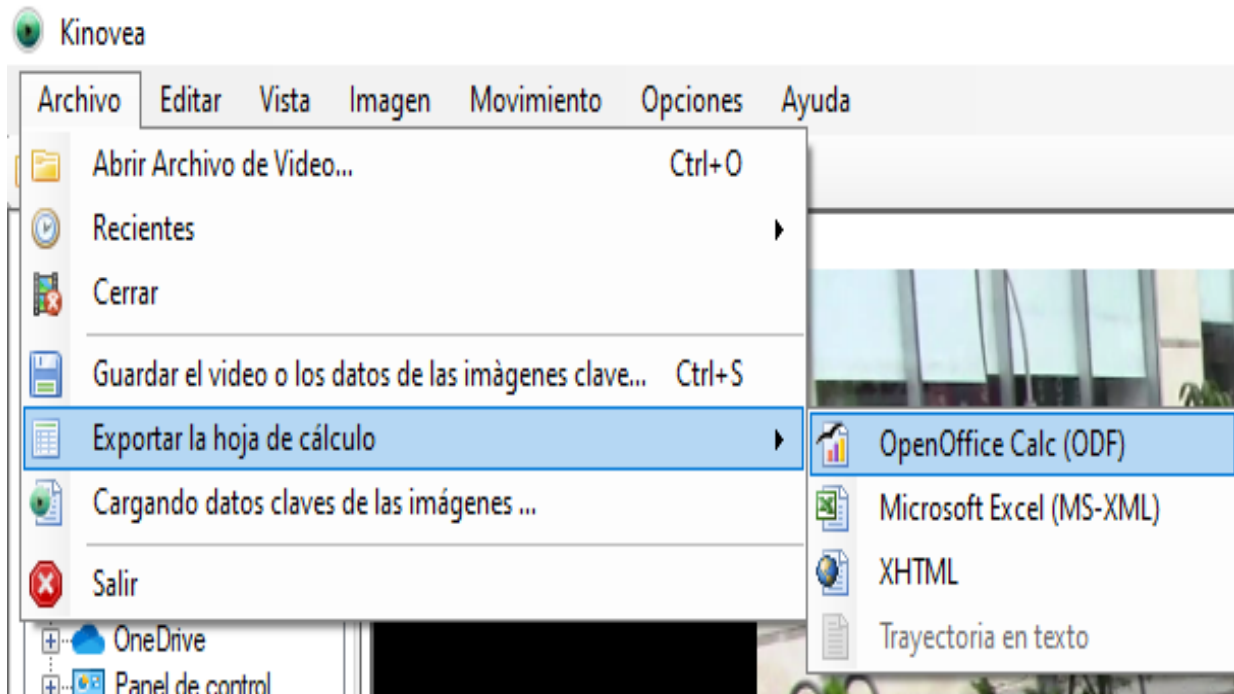


Fuente: Kinovea.

Una vez ya se tienen los datos correspondientes al espaciamiento de cada vehículo analizado en la hora pico, se procede a exportar la información en un formato mkb, el cual permite ser leído en hojas de cálculo con extensión: ODF, Excel, XML, XHTML, y text.

Figura 15.

Exportación de datos.



Fuente Kinovea.

8.4. Determinación del factor de conversión

Este factor de conversión de motocicletas a vehículos livianos se basa en la cantidad de autos que pueden reemplazar el volumen de dicho vehículo liviano, el cual depende de la velocidad, el espacio efectivo de la motocicleta y del tipo de vehículo a reemplazar.

El desarrollo del coeficiente equivalente es fundamentado a partir del rodaje de la filmación que arroja información y características necesaria durante la hora de máxima demanda en la estación que reporto mayor afluencia vehicular.

Una vez dicho lo anterior, se obtiene el espacio efectivo de cada vehículo analizado con la ayuda del software Kinovea y las velocidades, con un análisis visual en una distancia definida, que

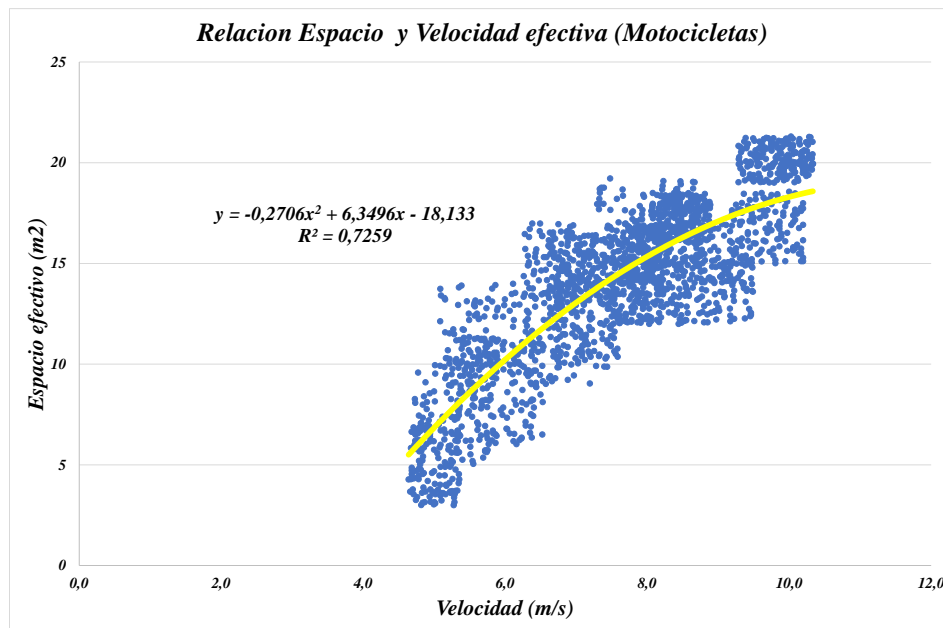
nos permitió tomar un punto de partida y otro punto de llegada sobre la vía de estudio. Para la determinación del factor de conversión de motocicletas a vehículos se emplean los siguientes métodos de investigación.

8.4.1. Método de estudio por Chu Cong “Desarrollo de la unidad de motocicleta (UEM) para el tráfico dominado por motocicletas”.

Este método propuesto por Chu Cong investiga la metodología de cálculo de Unidades Equivalentes de Motocicletas (UEM) en tramos de carreteras de vías urbanas en ciudades dependientes de motocicletas por medio de gráficos que relaciona la velocidad y el espacio efectivo de cada vehículo para conocer el comportamiento de la corriente vehicular y la ecuación que refleja dicha tendencia.

Figura 16.

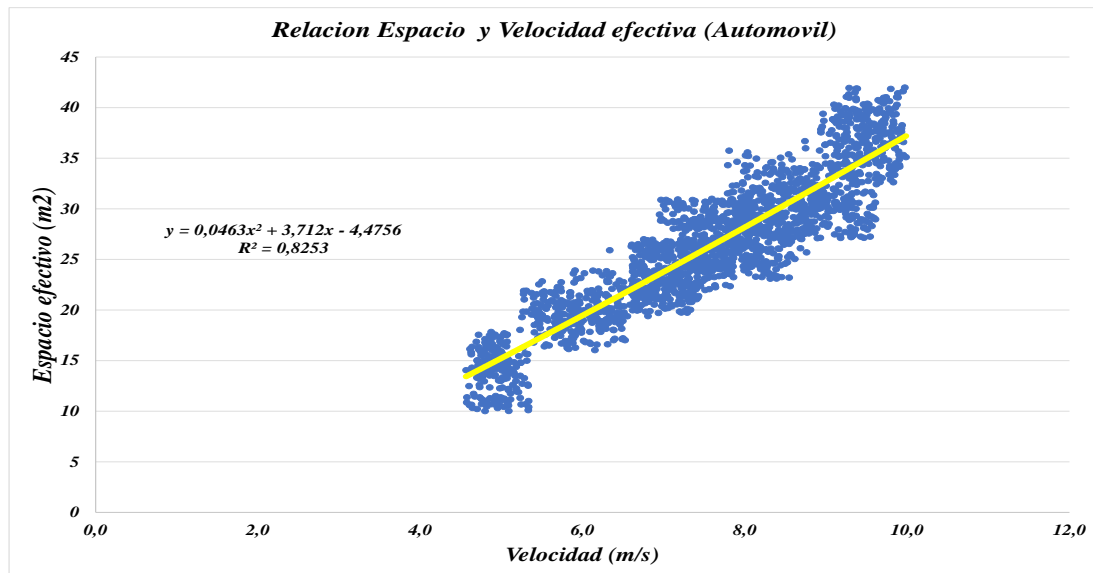
Relación espacio y velocidad efectiva (motocicletas).



Nota: Elaboración propia.

Figura 17.

Relación espacio y velocidad efectiva (Automóviles).



Nota: elaboración propia.

En el tramo de estudio sobre la carrera 27 con calle 45 sentido Sur-Norte se tomaron los datos respectivos para la velocidad y espacio efectivo y así poder hallar el factor de conversión en la afluencia vehicular. A continuación, se presenta la velocidad y el espacio efectivo mínimo, promedio y máxima encontrado para cada vehículo en estudio.

Tabla 13.

Espacio efectivo.

Tipo	Carrera 27 # 45 Sur-Norte		
	Espaciamento (m2)		
	Mínima	Promedio	Máxima
Motocicleta	3,0	13,9	21,3

Automóvil	10,4	25,3	41,98
-----------	------	------	-------

Fuente: Elaboración propia

Mediante unos ejemplos gráficos se muestra cómo se representa el espacio efectivo mínimo, promedio y máximo para las motocicletas y autos livianos.

Figura 18.

Espacio efectivo.



Fuente: Elaboración propia.

Las imágenes de la figura 18 fueron tomadas con apoyo del registro videográfico a partir de la hora de mayor congestión, la cual fue de 7:00am a 8:00am, esta misma está registrada en el video desde la hora 1:00:00 hasta la hora 2:00:00.

Tabla 14.*Velocidad efectiva.*

Tipo	Carrera 27 # 45 Sur-Norte		
	Velocidad (m/s)		
	Minima	Promedio	Maxima
Motocicleta	4,6	7,6	10,3
Automovil	4,6	7,5	10,0

Fuente: Elaboración propia.

El factor moto-equivalente está en función de características dinámicas de los vehículos. [2]. por lo cual, cada tipo de vehículo muestra una tendencia lineal diferente, donde el eje “X” representa a la velocidad equivalente y el eje “Y” el espacio efectivo de estos mismos.

Tabla 15.*Ecuaciones de espacio efectivo.*

Carrera 27 # 45 Sur-Norte	
<i>Motocicleta</i>	
$y = 0,2706x^2 + 6,3496x - 18,133 \quad R^2 = 0,7259$	
<i>Automovil</i>	
$y = 0,0586x^2 + 3,5135x - 3,6835 \quad R^2 = 0,8254$	

Fuente: Elaboración propia.

Para la generación del factor moto-equivalente es necesario relacionar las ecuaciones obtenidas en la Tabla 15 para cada tipo de vehículo con la ecuación de la motocicleta, las cuales están en función de la velocidad del vehículo a convertir, tal y como se muestra en la ecuación (Chu Cong, et al., 2009).

$$UEM_{ka} = \frac{S_{ka} * V_{ka}}{S_{mc} * V_{ka}}$$

UEM_{ka} : Unidad equivalente de motocicletas, factor moto-equivalente para el vehículo ka .

V_{ka} : Velocidad del vehículo ka (m/s).

$S_{ka}(V_{ka}), S_{mc}(V_{ka})$: Espacio efectivo de la motocicleta y del tipo de vehículo ka en una velocidad V_{ka} (m^2) respectivamente. (Chu Cong, 2009)

A continuación, en la siguiente imagen se muestra el resultado obtenido, indicando un factor moto-equivalente para autos livianos según la velocidad de este.

Figura 19.

Relación factor moto-equivalente.



Nota: Elaboración propia.

Para finalizar el estudio planteado en la presente investigación, se muestran los resultados obtenidos gracias a la ecuación determinada por el estudio de Chu Cong en el año 2009 donde se evidencia el valor del factor de equivalencia entre motocicletas y autos livianos.

Tabla 16.

Factor moto-equivalente.

N°	Tipo	MCU
1	Motocicleta	1
2	Automóvil	1,92

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se muestran los valores obtenidos del estudio realizado por Chu Cong en el año 2009.

Tabla 17.

Factor moto-equivalencia.

N°	Tipo	MCU
1	Motocicleta	1
2	Automóvil	2,3

Fuente: Chu Cong, et al. 2009.

9. Conclusiones

- El nivel de servicio (NDS), por inspección visual para la primera y segunda estación presentan una clasificación tipo D, este se acerca a un flujo inestables y los conductores tienen poca libertad para maniobrar.
- El nivel de servicio (NDS), por inspección visual para la tercera estación presentan una clasificación tipo C, ya que se mantiene en una zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad.
- El nivel de servicio (NDS), mediante la tabla 3 que determinan los rangos de velocidad para vías urbanas del (HCM 2000), se pudo determinar otra clasificación de tipo C para las tres estaciones ya que las velocidades se encuentran en un rango de 23 a 32 Km/h.
- En las tres estaciones de cobertura se determinó un valor horario de máxima demanda (VHMD) de 4.338 Veh/h, 3.756 Veh/h y 3.104 Veh/h respectivamente, para el factor horario de máxima demanda (FHMD) se obtuvieron valores de 0.93, 0.87 y 0.96 respectivamente lo cual indican tendencia a un flujo uniforme, por acercarse al valor de 1.0
- El cambio que se presenta en el espacio efectivo es directamente proporcional a la velocidad, ya que ésta, cuando aumenta o disminuye afecta el espacio efectivo entre vehículos, por lo cual, a mayor velocidad, es mayor el espacio efectivo. Se evidencia en la Imagen 13 y 14.

- El método propuesto se desarrolló basándose principalmente en la velocidad y el espacio efectivo de los vehículos.
- Las gráficas que relacionan el espacio y velocidad efectiva arrojan una tendencia lineal para cada auto, donde el eje “X” representa a la velocidad equivalente y el eje “Y” el espacio efectivo de estos mismos.
- El factor de conversión de motocicleta a autos livianos en el área metropolitana de Bucaramanga, específicamente en el municipio de Bucaramanga según los datos obtenidos en el tramo analizado de la carrera 27 dio como resultado una equivalencia de 1,92 para autos livianos.
- El factor moto-equivalente arrojó un valor de 1,92 mientras para Chu Cong el valor es 2,3. Esto se debe a que en el estudio de Chu Cong el porcentaje de motocicletas es mayor y representa más del 50% de los vehículos motorizados en la hora pico. En el caso del presente estudio, el porcentaje de motocicletas es menor. El análisis concluye que el factor de equivalencia es dinámico y en función de varias variables como la velocidad y el espacio que ocupa el vehículo.
- La presencia del COVID-19 generó en el presente estudio limitantes que no permitieron determinar volúmenes de tránsito de todo un día, que pudiese arrojar un resultado más confiable, aunque, comparando los resultados con la metodología aplicada de Chu Cong, el factor se encuentra dentro de un orden de magnitud lógico.

10. Recomendaciones

- Es recomendable para una próxima investigación, realizar los aforos durante todo el día, de tal manera que se puedan obtener datos de mayor demanda vehicular, para tener mayor precisión del estudio. Las limitaciones por el COVID-19 no permitieron esta toma de información.
- Para la toma de datos en campo es necesario que la vía esté libre de obstrucciones y no haya variaciones en el tramo de estudio, ya que estas circunstancias influyen en el flujo libre vehicular, la velocidad, la densidad y el espacio efectivo.
- Es importante que previamente a la toma de información de campo, se realice una inducción a los aforadores de tal manera que estén capacitados y tengan conocimiento de las variables a tomar según el formato de campo.
- Para la toma video gráfica, el espacio debe contar con buena iluminación y una calidad óptima que permita determinar el tipo de vehículo y el espacio que ocupa, de lo contrario se podrían presentar errores.
- Se recomienda usar un software que brinde las herramientas suficientes para acceder a los datos necesarios en el desarrollo de la investigación.

- Continuar con la realización del estudio para determinar factores de conversión en función de las variables que lo determinan y en diferentes sitios del área metropolitana de Bucaramanga.
- Otro estudio importante es la determinación de estos factores de conversión en vías rurales debido a que cada vez es más la presencia de las motocicletas en carreteras.

Referencias Bibliográficas

- Asociación Nacional de Industrias de Colombia (ANDI). (2019) [sitio web]. “Las motocicletas en Colombia: Aliadas del desarrollo del país”. [En línea] Disponible: [http://www.andi.com.co/Uploads/Estudio%20Motos%202019%20\(1\).pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Estudio%20Motos%202019%20(1).pdf)
- Avendaño, G. (2020). “Imparable: venta de motos en enero creció 10 por ciento”. EL TIEMPO. [En línea] Disponible: <https://www.motor.com.co/actualidad/industria/enero-2020-vendieron-52-mil-motos-colombia-crecio-10-x-ciento/33594>
- Cal, R. Mayor, G. Cárdenas, J. (2007). Ingeniería de tránsito fundamento y aplicaciones”. *Editorial Alfaomega*. 7, 1-1.
- Chu Cong, M., Kazushi, S. & Shoji, M. (2005). The speed, flow and headway analyses of Motorcycle traffic. *Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6(1), 2005, 1496 – 1508.
- Chu Cong, M., Kazushi, S., Tran Thanh, M. & Shoji, M. (2009) “Development of Motorcycle Unit (MCU) For Motorcycle-Dominated Traffic”. *Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 7.
- “HCM 2000 (Highway Capacity Manual)”. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2000, pp. 107
- kazushi, S. & Chu Cong, M. (2001). “Análisis of motorcycle effects to saturation flow rate at signalized intersection in developing countries”. *The Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6(1), 1496 – 1508.

Powell, M. (1999). "A model to represent motorcycle behaviour at signalized". Institute for Transport Studies, 1999.

Songsakdi, R., Rongviriyapanich, T. & Sompakdee, P. (2010) Microscopic Simulation for Modeling Effects of Motorcycles on Traffic Operations at Signalized Intersection. *The Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 8(1), 1-8.

Visualbeta, (2020). Kinovea. Análisis de videos deportivos. [En línea] Disponible:<http://www.visualbeta.es/3917/multimedia/kinovea-analisis-de-videosdeportivos/>

Yarce-Marín, Y. G. (2015) "Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas Aplicación en la ciudad de Medellín". Medellín: Universidad Nacional