

Determinación de factores de conversión de motocicletas a autos livianos en los
municipios de Floridablanca, Girón y Piedecuesta

Juan Sebastian Muñoz Holguin

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director

Luis David Arévalo Duran

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

Agradecimientos

Quiero agradecer primero que todo a mi madre Elsa Holguin Diaz, sin su apoyo y amor incondicional esto no sería posible, espero poder retribuir todo lo que ha hecho por mí, y seguir contando con su cariño y compañía durante mucho tiempo.

A todos los amigos, compañeros y profesores con los cuales compartí tantos lindos momentos a lo largo de todos estos años y por supuesto a la Universidad Industrial de Santander por formarme de manera íntegra, siendo motivo de orgullo haber sido parte de ella.

Tabla de contenido

Introducción	12
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Metodología de la investigación	14
2.1. Establecer los puntos y franjas horarias de los aforos	14
2.2. Definir el formato de la toma de datos.....	19
2.3. Aforos vehiculares	20
2.4. Análisis del estado del arte	20
2.5. Análisis de los resultados.....	21
3. Análisis del estado del arte	21
3.1. Estudios previos	22
3.2. Metodologías para hallar factores de conversión o equivalencia	27
3.2.1. Factor basado en las demoras	27
3.2.2. Factor basado en los intervalos	29
3.2.3. Factor basado en tasas de flujo y densidades.....	29
3.2.4. Factor basado en la velocidad	30
3.2.5. Factor basado en la velocidad y el área proyectada.....	31
3.2.6. Factor basado en la velocidad y el espacio efectivo	33

4. Análisis de datos	37
4.1. Niveles de servicio (nds).....	37
4.1.1. Nds de acuerdo con la observación visual en campo.....	37
4.1.2. Nds de acuerdo con las velocidades de operación	38
4.2. Factor horario de máxima demanda (fhmd).....	39
4.3. Factor de conversión	49
4.3.1. Material videográfico.....	49
4.3.2 procesamiento manual-automático	50
4.3.3 espacio efectivo y velocidad	51
4.3.4 cálculo del factor de conversión	59
5. Conclusiones	63
6. Recomendaciones	65
Referencias Bibliográficas	66
Apéndices	70

Lista de Tablas

Tabla 1. Formato de los aforos	20
Tabla 2. Factores moto-equivalentes en la India año 2001.....	23
Tabla 3. Factores moto-equivalentes en Hanói, Vietnam año 2005	24
Tablas 4. Factores de conversión en Vietnam año 2007.....	24
Tablas 5. Factores moto-equivalentes en Hanói, Vietnam año2009.....	25
Tabla 6. Comparación de los factores equivalentes en Santa Clara, Cuba	26
Tabla 7. Factores de conversión.....	27
Tabla 8. Áreas proyectadas promedio.....	33
Tabla 9. Niveles de servicio para clasificación de vías urbanas	38
Tabla 10. NDS	39
Tablas 11. VHMD y FHMD	41
Tablas 12. VHMD y FHMD	42
Tabla 13. VHMD y FHMD.....	43
Tabla 14. VHMD y FHMD.....	44
Tabla 15. VHMD y FHMD.....	45
Tabla 16. VHMD y FHMD.....	46
Tabla 17. VHMD y FHMD.....	47
Tabla 18. VHMD y FHMD.....	48
Tablas 19. VHMD y FHMD	49
Tabla 20. Ecuaciones del espacio efectivo	58
Tabla 21. Espacios efectivos Floridablanca.....	59

Tabla 22. Espacios efectivos Girón	60
Tablas 23. Espacios efectivos Piedecuesta	60
Tabla 24. Velocidades Floridablanca.....	60
Tabla 25. Velocidades Girón	61
Tabla 26. Velocidades Piedecuesta	61
Tabla 27. Factores de conversión.....	62

Lista de Figuras

Figura 1. Porcentaje de población con motocicleta año 2018	12
Figura 2. Av El Tejar entre Cll 126-Cra 45 (Sur-Norte).....	14
Figura 3. Cra 8 entre calles 5-6 (Sur-Norte)	15
Figura 4. Tv el Bosque frente a la clínica Ardila Lülle (Oeste-Este)	15
Figura 5. Av Los Caneyes frente a Metro (Oeste-Este).....	16
Figura 6. Crr 26 entre Cll 18-19 (Norte-Sur)	16
Figura 7. Cll 44 entre Crr 23-26 (Este-Oeste)	17
Figura 8. Cll 10 entre Cra 7-8 (Oeste-Este)	17
Figura 9. Cra 6 entre Cll 9-10 (Norte-Sur)	18
Figura 10. Crr 8 entre Cll 0-1 (Norte-Sur)	18
Figura 11. Tipo de vehículos a aforar	19
Figura 12. Modelo de densidad-flujo de Greenshields	30
Figura 13. Espacio efectivo.....	34
Figura 14. Composición Vehicular Floridablanca	34
Figura 15. Composición Vehicular Girón.....	35
Figura 16. Composición Vehicular Piedecuesta	35
Figura 17. Volumen vehicular	40
Figura 18. Volumen vehicular	41
Figura 19. Volumen vehicular	42
Figura 20. Volumen vehicular	43
Figura 21. Volumen vehicular	44

Figura 22. Volumen vehicular	45
Figura 23. Volumen vehicular	46
Figura 24. Volumen vehicular	47
Figura 25. Volumen vehicular	48
Figura 26. Registro videográfico	50
Figura 27. Variable	51
Figura 28. Interfaz de Kinovea	51
Figura 29. Velocidad vs Espacio efectivo primer punto Floridablanca.....	52
Figura 30. Velocidad vs Espacio efectivo segundo punto Floridablanca	53
Figura 31. Velocidad vs Espacio efectivo tercer punto Floridablanca	53
Figura 32. Velocidad vs Espacio efectivo Floridablanca.....	54
Figura 33. Velocidad vs Espacio efectivo primer punto Girón	54
Figura 34. Velocidad vs Espacio efectivo segundo punto Girón.....	55
Figura 35. Velocidad vs Espacio efectivo tercer punto Girón	55
Figura 36. Velocidad vs Espacio efectivo Girón	56
Figura 37. Velocidad vs Espacio efectivo primer punto Piedecuesta.....	56
Figura 38. Velocidad vs Espacio efectivo segundo punto Piedecuesta	57
Figura 39. Velocidad vs Espacio efectivo tercer punto Piedecuesta	57
Figura 40. Velocidad vs Espacio efectivo Piedecuesta.....	58

Lista de Apéndices

Apéndice A.	70
------------------	----

Resumen

Título: Determinación de factores de conversión de motocicletas a autos livianos en los municipios de Floridablanca, Girón y Piedecuesta*

Autor: Juan Sebastian Muñoz Holguin **

Palabras Clave: Tránsito, flujo, factores de conversión, vehículos, motocicleta, auto liviano

Descripción:

Según cifras del Registro Único Nacional de Transito RUNT en febrero del año 2021 había 16'176,803 vehículos matriculados en Colombia de los cuales 9'517,694 eran motocicletas es decir aproximadamente el 59% del parque automotor (Registro Único Nacional de Transito, 2021).

Teniendo esto en cuenta podemos estar seguros que para mejorar en movilidad; se deben formular los estudios de tránsito de una manera articulada y precisa, sin subestimar el papel que juegan las motocicletas y así lograr establecer un factor de conversión que represente un vehículo liviano en vías urbanas, en este caso, para los municipios de Floridablanca, Girón y Piedecuesta, que permita implementar estrategias para diseñar un procedimiento que sea lo más acertado posible, donde se analice el flujo vehicular de una manera homogénea.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Duran, Ingeniero Civil

Abstract

Title: Determination of conversion factors of motorcycles to light cars in the municipalities of Floridablanca, Girón and Piedecuesta*

Author: Juan Sebastian Muñoz Holguin**

Key Words: Traffic, flow, conversion factors, vehicles, motorcycle, light car

Description:

According to figures from the Registro Único de Transito RUNT, in February 2021 there were 16'176,803 vehicles registered in Colombia, of which 9'359,553 were motorcycles, that is, approximately 59% of the vehicle fleet (Registro Único Nacional de Transito, 2021).

Taking this into account we can be sure that to improve mobility; traffic studies must be formulated in an articulated and precise manner, without underestimating the role that motorcycles play and thus achieve to establish a conversion factor that represents a light vehicle on urban roads in the municipalities of Floridablanca, Girón and Piedecuesta, which allows to implement strategies to design a procedure that is as successful as possible, where the vehicular flow is analyzed in a homogeneous way.

* Degree Work

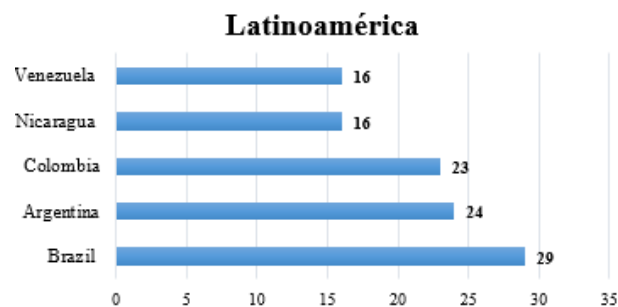
** School of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Luis David Arévalo Duran, Civil Engineer

Introducción

En los países que se encuentran en vía de desarrollo el uso de las motocicletas ha aumentado considerablemente debido principalmente a su bajo precio comparado con un vehículo liviano, a la baja calidad del transporte público, a la facilidad de maniobrar en la corriente de congestión vehicular, y desafortunadamente porque representa oportunidades de trabajo inmediato. Esto ha dado como consecuencia el aumento del caos vehicular, accidentes vehiculares y toda una clase de externalidades negativas del tránsito y el transporte. Particularmente Colombia es el país latinoamericano que más motocicletas vende, y el tercero en el que más circulan. Según cifras del Registro Único Nacional de Transito RUNT en febrero del año 2021 había 16'176,803 vehículos matriculados, de los cuales 9'517,694 eran motocicletas es decir aproximadamente el 59% del parque automotor (Registro Único Nacional de Transito, 2021).

Figura 1.

Porcentaje de población con motocicleta año 2018



Este porcentaje seguirá aumentando, por lo que es indispensable analizar el impacto generado por estos vehículos en el desempeño de la infraestructura del país (capacidad, nivel de servicio, seguridad, etc.).

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Determinar un factor de conversión que permita establecer la equivalencia entre motocicletas y autos livianos en vías urbanas específicas e identificadas de los municipios de Floridablanca, Girón y Piedecuesta

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar tres aforos vehiculares en cada uno de los tres municipios (Floridablanca, Girón y Piedecuesta), que permitan establecer muestras representativas de su flujo vehicular en vías urbanas de mayor tráfico.
- Analizar el impacto de la motocicleta en el tráfico dentro del sistema vial de estos municipios colombianos, de acuerdo con los aforos vehiculares.
- Determinar el nivel de servicio y capacidad en las vías urbanas identificadas según los tres aforos, de Floridablanca, Girón y Piedecuesta.
- Estudiar metodologías usadas para la determinación de factores de equivalencia entre motocicletas y autos livianos, y recomendar la más apropiada según el tráfico de dichos municipios.

2. Metodología de la investigación

2.1. Establecer los puntos y franjas horarias de los aforos

Se establecen tres puntos y las franjas horarias en los cuales se van a realizar los aforos, en cada uno de los municipios (Floridablanca, Girón y Piedecuesta) durante un día laboral y un horario pico, que permita obtener una muestra representativa del tráfico vehicular por municipio. La toma de datos se realizó en intervalos de 15 minutos, durante las franjas horarias de 6:00 a.m. a 9:00 a.m., 11:30 a.m. a 2:30 p.m. y 5:00 p.m. a 8:00 pm. De tal manera que en cada municipio se analizó un punto estratégico en la mañana, el medio día y la tarde-noche.

- En Floridablanca estos puntos fueron:

Figura 1.

Av El Tejar entre Cll 126-Cra 45 (Sur-Norte)



Figura 3.

Cra 8 entre calles 5-6 (Sur-Norte)

**Figura 4.**

Tv el Bosque frente a la clínica Ardila Lülle (Oeste-Este)



- En Girón estos puntos fueron:

Figura 2.

Av Los Caneyes frente a Metro (Oeste-Este)



Figura 3.

Crr 26 entre Cll 18-19 (Norte-Sur)



Figura 4.

Cll 44 entre Crr 23-26 (Este-Oeste)



- En Piedecuesta estos puntos fueron:

Figura 5.

Cll 10 entre Cra 7-8 (Oeste-Este)



Figura 6.

Cra 6 entre Cll 9-10 (Norte-Sur)

**Figura 7.**

Crr 8 entre Cll 0-1 (Norte-Sur)



2.2. Definir el formato de la toma de datos

Se contará con un formato de campo en el cual cada aforador pueda anotar la cantidad del tipo de vehículo que le fue asignado en intervalos de 15 minutos durante tres horas. La agrupación que se hizo de los diferentes tipos de vehículos fue:

- Particulares: Automóviles y camionetas.
- Busetas: Intermunicipales, escolares, alimentadores de Metrolínea, transporte de alimentos.
- Buses: Intermunicipales y articulados de Metrolínea.
- Camiones.
- Taxis.
- Motocicletas.
- Bicicletas.

Figura 11.

Tipo de vehículos a aforar

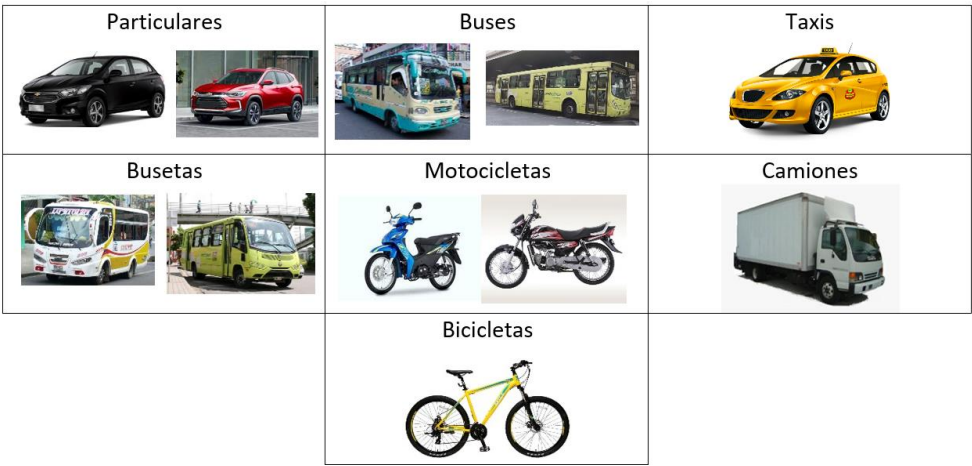


Tabla 1.*Formato de los aforos*

Formato de aforo hora pico. Volúmenes de tránsito							
Fecha (D.M.A)		Hora inicio		Localización			Hoja 1
		Hora Final					De 1
Intervalo	Motos	Particulares	Taxis	Buses	Busetas	Camiones	Bicicletas
6:00- 6:15							
6:15- 6:30							
6:30- 6:45							
6:45-7:00							

Nota: Adaptado de Ministerio de transporte

2.3. Aforos vehiculares

Para la realización de los aforos se contó con la colaboración de cuatro personas; una persona encargada de contar la cantidad de motocicletas, otra los vehículos particulares, otra de taxis y camiones, y por último una encargada de buses, busetas y bicicletas.

Con estos datos además de los videos y fotografías tomados en campo, se cuenta con todas las variables del tránsito vehicular que permitirán determinar el factor de conversión de motocicleta a auto liviano más idóneo, así como los niveles de servicio de dichas vías urbanas.

2.4. Análisis del estado del arte

Se estudiará todo lo relacionado con factores de conversión de motocicletas a autos livianos, tanto a nivel nacional como internacional, de manera que se logre recopilar información que nos permita hallar el factor que mejor se adapte a la realidad que viven cada uno de los municipios de Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

2.5. Análisis de los resultados

Con los datos recolectados en campo y la información recopilada del análisis del estado del arte, se determinan los niveles de servicio de cada vía urbana aforada, y un factor de conversión de motocicleta a auto liviano por municipio. Además de las respectivas conclusiones y recomendaciones de toda la investigación realizada.

3. Análisis del estado del arte

En la vía se encontró diferentes actores viales desde peatones, ciclistas, motociclistas, carros pequeños hasta camionetas, buses y camiones que se deben considerar a la hora de analizar el tránsito y aplicar estrategias que mejoren la movilidad. Siendo necesario analizar el impacto que cada uno y en conjunto generan en los flujos de tráfico mixto. Aquí entran en juego los factores de conversión o equivalencia, que permiten representar el efecto que generan otros vehículos respecto al automóvil que es la unidad básica de los factores de equivalencia en el tráfico mixto o flujo heterogéneo, convirtiéndolo así en un flujo homogéneo equivalente (Highway, 2000).

Por esto fue que surgió el concepto de “automóvil equivalente” en el Highway Capacity Manual (HCM), pero este originalmente se pensó para analizar el efecto de vehículos de mayor tamaño que un automóvil liviano, el Manual de Capacidad de Carreteras del 2010 define este automóvil equivalente como un factor imprescindible para realizar un estudio de ingeniería de tránsito, al permitir analizar volúmenes de tráfico como si estuvieran compuestos solamente por automóviles livianos, en el caso de camiones y buses estos son más grandes y menos rápidos se les otorga un factor mayor a la unidad al hacer más ineficiente el tránsito porque ocupan más

espacio, causan mayores demoras y los demás conductores se ven obligados a realizar más maniobras de adelantamiento (Rahman & Nakamura, 2005). Todo lo contrario, ocurre con la motocicleta, que no necesariamente son más lentas que los autos, y ocupan menos espacio, por esto su factor es menor a la unidad.

3.1. Estudios previos

Branston & Van Suylen (1978), sugieren que cuando el volumen de motocicletas representa el 20% o más de la composición vehicular en un intervalo de tiempo, debe ser considerado en el cálculo de las variables de tránsito.

Powell (1999), 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.

El manual de capacidad vial (HCM 2000) le da un valor de 0.5 a la motocicleta, pero no aparece calculado y asume para ello comportamientos que muchas veces no ocurren en nuestro país, por lo que realmente podría no ser muy preciso (Highway, 2000).

Kazushi & Chu Cong (2001), trabajaron en el análisis de los efectos de la motocicleta en proporción al flujo de saturación para las intersecciones semaforizadas en Hanói, Vietnam y Bangkok, Tailandia. 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 y automóviles según el ancho de carril. Se obtienen los factores de conversión 0.18 y 0.24 para Bangkok y Hanói respectivamente.

India Infrastructure Report (2001), es una investigación desarrollada para India donde toman a la motocicleta como la unidad de referencia y definen los demás vehículos en función de esta, con los siguientes resultados, pero sin explicar cómo fueron calculados.

Tabla 2.

Factores moto-equivalentes en la India año 2001

No.	Type	MCU
1	Cycle	0.80
2	Motorcycle	1.00
3	Car	2.00
4	Minibus	4.40
5	Bus	8.00

Nota: Adaptado de India Infrastructure Report (2001). Report, s.l, Oxford University Press.

Nuevamente Chu Cong (2005), realiza un trabajo donde estudia la velocidad, el flujo y el tránsito de motocicletas en la ciudad de Hanói, implementando una serie de fórmulas matemáticas y estadísticas, junto con los Test F y T para comparar las características de la velocidad media de las motocicletas entre varios lugares. Con la ayuda del software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), encontró que en carriles exclusivos para motocicletas se desarrolla mayor velocidad media comparado con el tránsito en vías no exclusivas para motocicletas. Por otro lado, también se obtiene algunos resultados de los factores de conversión a la unidad de motocicleta en dos secciones viales analizadas.

Tabla 3.*Factores moto-equivalentes en Hanói, Vietnam año 2005*

Section	MCU for vehicle type				
	Cycle	Motorcycle	Car	Minibus	Bus
3	1.65	1.00	3.86	10.58	20.27
4	1.67	1.00	3.60	9.50	19.64

Nota: Adaptado de Minh,Sano & Matsumoto, (2005). The speed, flow and headway analyses of motorcycle traffic. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, 1496-1508.

Agudelo (2006), con su estudio realizado para la ciudad de Manizales, Colombia calcula un factor de 0.75. Por otra parte, en el año 2007 Vietnam desarrolla una serie de especificaciones para el diseño de vías urbanas, donde plantea los siguientes factores de conversión, para homogenizar el flujo (Urban Roads, 2007).

Tablas 4.*Factores de conversión en Vietnam año 2007*

No	Type	MCU
1	Cycle	1.20
2	Motorcycle	1.00
3	Car	4.00
4	Minibus	10.0
5	Bus	12.0

Nota: Adaptado de Urban Roads. (2007). Specifications for design. Vietnam construction standard.

Por su parte, García (2008) calcula un factor de 0.33 en el estudio “Análisis de alternativas y diseño funcional de una motovía en la ciudad de Cali”. Nguyen et al. (2009), aplicó el método de promedios ponderados y el modelo logarítmico de Greenberg, el cual fue ajustado con regresión lineal, para la estimación de la capacidad, el flujo máximo de motocicletas, la velocidad crítica de la corriente media y la densidad crítica, en la ciudad de

Hanoi. Con unos resultados que indican que el factor de equivalencia de motocicletas aumenta ligeramente según el número de carriles de cada carretera urbana durante la hora de máxima demanda.

Tablas 5.

Factores moto-equivalentes en Hanói, Vietnam año2009

No	Type	MCU
1	Cycle	1
2	Motorcycle	1.38
3	Car	3.43
4	Minibus	10.48
5	Bus	8.34

Nota: Adaptado de Nguyen, Kazushi, Tran, & Nguyen (2009). *Estimating capacity and vehicle equivalent unit by motorcycles at road segments in urban road. Department of Civil and Environmental Engineering.*

Por su parte Velandia Siachoque, desarrolla la investigación llamada “Criterios metodológicos para involucrar el factor motocicleta en los estudios de tránsito en Bogotá” en el año 2013, donde obtiene un factor de equivalencia de motocicleta a automóvil liviano de 0.16 cuando la velocidad es mayor a 10 km/h y 0.08 cuando las velocidades son más bajas, en vías de 5 carriles (Velandia, 2013). Adnan (2014) realizó la estimación de factores equivalentes, utilizando el tráfico heterogéneo que prevalece en las principales vías de la ciudad de Karachi, Pakistán. En el mismo año Peña (2014), con la investigación “Determinación del factor de equivalencia de motocicletas en flujo ininterrumpido en vías con pendiente 0% de 3 carriles en Colombia” realizada en la ciudad de Medellín, estudia el impacto de la motocicleta en la congestión de tráfico mixto. El factor observado en flujo estable es de 0.29 y en flujo inestable es de 0.05.

La autora Yarce (2015) con la investigación “Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas. Aplicación en la ciudad de Medellín” propone un método para la generación de factores de conversión a la unidad de motocicletas, los cuales están en función de la velocidad y el espacio efectivo que presentan los vehículos al movilizarse por una corriente vehicular. El factor de conversión de motocicleta a auto liviano fue de 0.4.

Por último, Sánchez (2018), en su trabajo de investigación llamado “Determinación de los factores de equivalencia vehicular en las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara”, obtiene los siguientes resultados en dicha ciudad cubana:

Tabla 6.

Comparación de los factores equivalentes en Santa Clara, Cuba

Categorías		Factor equivalente	
		NC: 53-118-1984	Presente Investigación
Ciclos		-	0.14
Motos	De dos ruedas	-	0.12
	De tres ruedas	-	0.41
	Ligeros	1	1
	Pesados	2.5	2.44
	Ómnibus	2	2.18

Nota: Adaptado de Sánchez (2018). Determinación de los factores de equivalencia vehicular en las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara [Tesis de pregrado], Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara.

En la siguiente tabla se presentan los factores de conversión encontrados en diferentes ciudades y países.

Tabla 7.*Factores de conversión*

Ciudad/País	Factores de Conversión	
	Tipo de vehículo	
	Motocicleta	Auto liviano
Hanoi, Vietnam	0.24	1
Bangkok, Tailandia	0.18	1
India	0.5	1
Manizales, Colombia	0.75	1
Cali, Colombia	0.33	1
Estados Unidos	0.5	1
Medellín, Colombia	0.29	1
Medellín, Colombia	0.4	1
Santa Clara, Cuba	0.12	1

De acuerdo con la Tabla 7 se puede observar que el factor de conversión varía significativamente, según las características propias de cada ciudad, el año y la manera en la que este fue determinado.

3.2. Metodologías para hallar factores de conversión o equivalencia

Actualmente no se cuenta con una verdad absoluta para calcular el factor de equivalencia, tenemos varios estudios que arrojan resultados numéricos diferentes, ya que están basados en diferentes parámetros o variables de tráfico (McShane & Roess, 1990), y se clasificaron de la siguiente manera, de acuerdo con la variable en la que se basan.

3.2.1. Factor basado en las demoras

Este método se basa en la relación de la demora que experimenta un automóvil liviano con respecto a otro tipo de vehículo, suponiendo que los automóviles están obstaculizados por vehículos más lentos. Fue desarrollado por Cunagin & Messer (1983).

$$PCE = \frac{D_{ij} - D_{base}}{D_{base}}$$

Donde:

PCE : Factor de equivalencia vehicular.

D_{ij} : Demora del vehículo ligero respecto al tipo de vehículo i , bajo las condiciones j .

D_{base} : Demora del automóvil liviano con respecto al vehículo más lento.

Para hallar un factor de conversión de buses a autos livianos en intersecciones Rodríguez & Benekohal (2004) utilizaron las demoras que se definen como el tiempo adicional que los demás vehículos toman para cruzar una intersección, debido a la presencia de un vehículo más lento. Esta metodología tiene en cuenta las demoras generadas a todos los vehículos en cola y para distintas posiciones del vehículo más lento dentro de la cola. Con la siguiente expresión se calculó el factor PCE (Rodríguez & Benekohal, 2004):

$$PCE = 1 + \frac{\overline{db}}{\overline{do}}$$

Donde:

PCE : Factor de equivalencia vehicular.

$\overline{db}$: Es el promedio de la demora adicional generada por el vehículo más lento.

$\overline{do}$: Es la demora promedio para una corriente de sólo automóviles livianos.

3.2.2. *Factor basado en los intervalos*

Este método empezó a ser utilizado en 1947 por Greenshields en el cual compara el intervalo del vehículo tipo i con el intervalo de un auto liviano, para hallar su factor de conversión con la siguiente expresión:

$$PCU_i = \frac{H_i}{H_c}$$

Donde:

PCU: Unidad de automóvil del vehículo tipo i .

H_i : Intervalo del vehículo tipo i .

H_c : Intervalo del automóvil liviano.

Y el intervalo es el tiempo existente entre la defensa trasera de dos vehículos consecutivos.

3.2.3 *Factor basado en tasas de flujo y densidades*

Huber (1982) sugiere un modelo para calcular el factor para vías de carriles múltiples considerando un flujo mixto (qm) y un flujo homogéneo con solo autos (qb), teniendo en cuenta la relación entre volúmenes de estos flujos en algún nivel común de impedancia. Con la siguiente expresión:

$$PCE = \frac{1}{pt} \left(\frac{qb}{qm} - 1 \right) + 1$$

Donde:

PCE: Factor de equivalencia vehicular.

qb : Flujo básico solo con autos livianos.

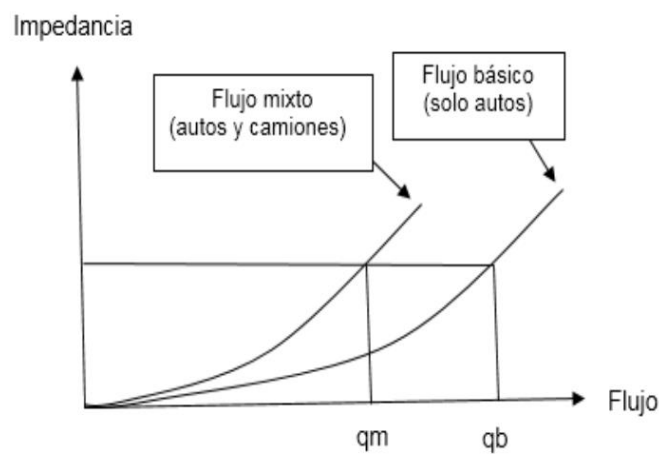
q_m : Flujo mixto.

p_t : Fracción del otro tipo de vehículos.

Los valores de q_m y q_b se obtienen por medio del modelo de densidad-flujo de Greenshields.

Figura 12.

Modelo de densidad-flujo de Greenshields



Nota: Adaptado de Huber (1982). Estimation of passenger-car equivalents of trucks in traffic stream (discussion and closure) (No. 869).

La densidad es la medida que cuantifica la proximidad de los vehículos entre sí dentro de la corriente del tráfico e indica el grado de maniobrabilidad dentro de esta, y la tasa de flujo es la cantidad de vehículos que pasan por un punto en cierto tiempo. Los valores de los factores de conversión derivados de los métodos de densidades y tasas de flujos se basan en conceptos de tráfico homogéneo que se desarrollan en vías de múltiples carriles.

3.2.4 Factor basado en la velocidad

Esta metodología se desarrolló estudiando como la presencia de otros tipos de vehículos afectan la velocidad media de los automóviles livianos que también transitaban por allí.

$$PCE = 1 + \frac{S_b + S_m}{S_b}$$

Donde:

PCE: Factor de equivalencia vehicular.

S_b : Velocidad promedio de los automóviles en flujo con solo automóviles.

S_m : Velocidad promedio de los automóviles en flujo con otro tipo de vehículos.

3.2.5 Factor basado en la velocidad y el área proyectada

Chandra & Sikdar (2000) determinan que el factor de conversión es proporcional a la relación de velocidad e inversamente proporcional a la relación del área ocupada con respecto al auto liviano.

$$PCE = \frac{V_c/V_i}{A_c/A_i}$$

Donde:

PCE: Factor equivalente.

A_c : Área proyectada del automóvil ligero.

A_i : Área proyectada del vehículo tipo i.

V_c : Velocidad media del automóvil ligero.

V_i : Velocidad media del vehículo tipo i.

La velocidad está en función de las condiciones de la carretera y el tráfico, mientras que el área proyectada nos indica la maniobrabilidad de este con respecto a otros tipos de vehículos. Srikanth & Mehar (2016) tienen en cuenta un nuevo factor; el intervalo promedio F_h y lo combina con las variables antes mencionadas.

$$F_h = \frac{h_i}{h_c}$$

$$PCU = F_v * F_h * F_a$$

Donde:

h_i : Intervalo promedio de los automóviles ligeros.

h_c : Intervalo promedio de los vehículos tipo i.

$$F_v = \frac{v_c}{v_i} \text{ Factor velocidad}$$

$$F_a = \frac{A_i}{A_c} \text{ Factor área proyectada (Shalini & Kumar, 2014).}$$

Este método se ajusta muy bien al tráfico mixto que presentan los municipios de Floridablanca, Girón y Piedecuesta, pero también se evidenció que, en las vías aforadas de dichos municipios, las motocicletas presentan comportamientos que pueden incomodar a otros usuarios en la vía, haciendo que el desempeño de la infraestructura disminuya, como por ejemplo cuando transitan en Zig-Zag, lo que ocasiona que en realidad ocupen una mayor área, y por lo tanto se determinen valores de menor magnitud en los factores de equivalencia.

Tabla 8.*Áreas proyectadas promedio*

Tipo de vehículo	Promedios		
	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m2)
Automóvil liviano	5	1.6	8
Motocicleta	1.9	0.6	1.14

En la Tabla 8 se presentan las áreas proyectadas promedio de las motocicletas y automóviles livianos que se observaron en los puntos de estudio.

3.2.6 Factor basado en la velocidad y el espacio efectivo

Chu et al. (2009), genera un factor moto-equivalente que está en función de las características dinámicas de los vehículos; espacio efectivo y velocidad.

$$MCU_{ka} = \frac{S_{ka}(V_{ka})}{S_{mc}(V_{ka})}$$

Donde:

MCU_{ka} : Factor moto-equivalente para el vehículo ka.

S_{mc} : Espacio efectivo de la motocicleta en una velocidad V_{ka} (m2).

S_{ka} : Espacio efectivo del vehículo ka en una velocidad V_{ka} (m2).

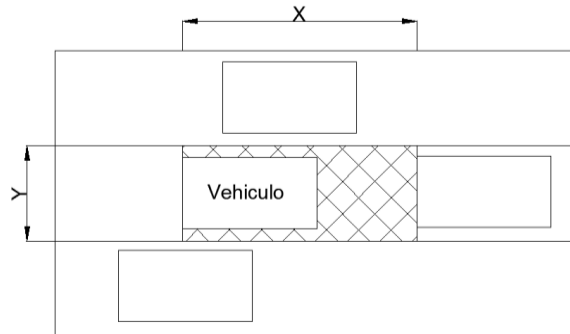
Dichos espacios efectivos están en función de la velocidad del vehículo ka (m/s)

El espacio efectivo de un vehículo se define como el espacio necesario para que un vehículo logre mantener su velocidad actual. Es el producto del ancho efectivo y el largo

efectivo, por lo tanto, su valor depende de la velocidad del vehículo, la manera en la que se desplaza y a su vez de los vehículos e infraestructura adyacentes.

Figura 13.

Espacio efectivo



Este será el método utilizado para determinar los factores de equivalencia. Ya que como se pudo observar después de la revisión literaria es el método que mejor se adapta a las condiciones del tráfico mixto que presentan los municipios de Floridablanca, Girón y Piedecuesta, donde predomina el flujo de motocicletas, como muestra la composición vehicular de cada uno de los tres municipios estudiados.

Figura 14.

Composición Vehicular

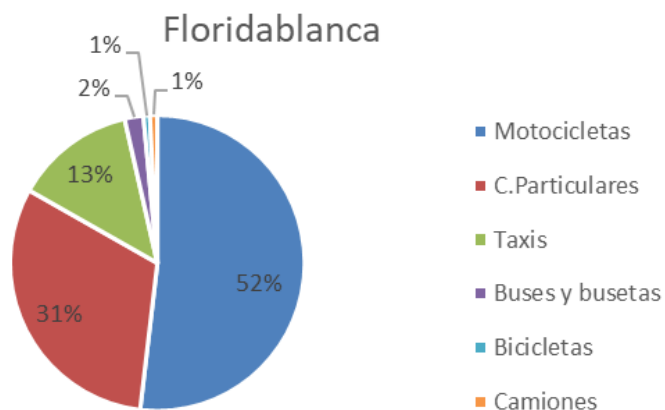
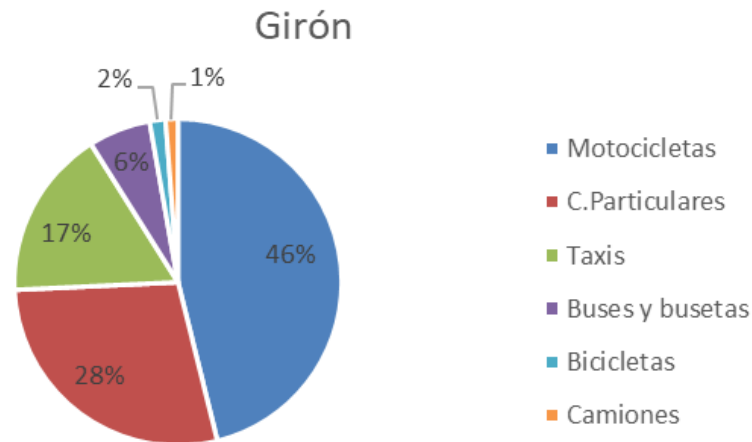
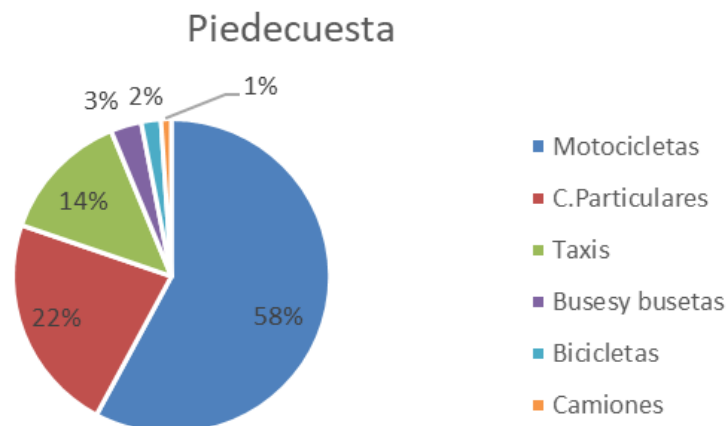


Figura 15.*Composición Vehicular Girón***Figura 16.***Composición Vehicular Piedecuesta*

Además, el hecho de que el flujo vehicular este dominado por motocicletas genera que muchas de estas tengan comportamientos erráticos como por ejemplo (Lee, 2007):

- Viajar al lado del automóvil, compartiendo el mismo carril.

- No seguir al automóvil precedente por el centro del carril, sino desde una posición lateral trasera.
- Adelantar por entre el espacio lateral entre dos automóviles o por la derecha.
- Transitar en Zig-Zag dentro de un mismo carril, ocupando un mayor espacio.
- Mantener separaciones más pequeñas con el vehículo precedente, de lo que mantienen los demás vehículos entre sí.
- Utilizar los espacios asignados para los peatones.
- Aglomerarse en las intersecciones semaforizadas.

Todo esto puede desencadenar en que el factor hallado por otro método distinto a este, de un valor de menor magnitud, al dejar de lado todas interacciones que presentan las motocicletas con los otros vehículos, además de que las variables de velocidad y espacio efectivo se pueden medir de manera muy precisa gracias a las herramientas con las que se cuenta en el presente proyecto, de tal manera que se determinará una ecuación que describa la línea de tendencia generada al analizar el espacio efectivo de las motocicletas y automóviles livianos en función de su velocidad, durante el procesamiento del material videográfico registrado en los periodos de mayor flujo en las horas de máxima demanda. La relación de estas dos variables fue desarrollada por Chu et al. (2009) durante su último estudio sobre los factores de conversión, los cuales ha desarrollado a lo largo de varios años, en ciudades donde también hay una preponderancia de la motocicleta en el tráfico (Putra, 2011), por tales razones se escoge este método.

4. Análisis de datos

Se definen los niveles de servicio a través de la valoración de las condiciones de circulación existentes de acuerdo con el HCM 2010, los factores horarios de máxima demanda y los factores de equivalencia.

4.1. Niveles de servicio (NDS)

Son una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y la percepción de sus pasajeros (Cal, Reyes & Cárdenas, 2007), el HCM 2010 establece seis niveles de servicio, identificados por letras desde la A hasta la F, donde el nivel A representa las mejores condiciones de flujo y el nivel F las peores.

4.1.1. NDS de acuerdo con la observación visual en campo

Nivel A: Representa una circulación a flujo libre, con una alta libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito (Excelente). Ninguno de los 9 puntos aforados cumple con estas características.

Nivel B: Esta dentro del rango del flujo estable, aunque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno (Bueno). Ninguno de los nueve puntos aforados cumple con estas características.

Nivel C: Pertenece al rango del flujo estable, pero la selección de la velocidad deseada y la libertad de maniobra comienza a ser restringida (Aceptable). Los puntos de la avenida Los Caneyes en Girón, la carrera 8 entre calles 0 y 1 en Piedecuesta, y la avenida El Tejar en Floridablanca cumplen con estas características.

Nivel D: Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable, pero un pequeño incremento del flujo generalmente ocasiona problemas de funcionamiento (Muy regular). Los puntos de la calle 44 y la carrera 26 de Girón, la carrera 8 en Floridablanca, la carrera 6 y la calle 10 en Piedecuesta cumplen con estas características.

Nivel E: El funcionamiento está en él, o cerca del límite de su capacidad. La velocidad y la libertad de maniobra de todos se ve reducida a un valor bajo (Malo). El punto de la Transversal el Bosque de Floridablanca cumple con estas características.

Nivel F: Representa condiciones de flujo forzado, se produce cuando la cantidad de tránsito excede la capacidad de este punto (Pésimo).

4.1.2. NDS de acuerdo con las velocidades de operación

Con las velocidades promedio a la que transitan los vehículos en cada uno de los nueve puntos aforados y la tabla 15.2 del Manual de Capacidad Vial (2000), se puede establecer el nivel de servicio al que pertenece dicho punto.

Para esto se contabilizo el tiempo en el que motocicletas y automóviles livianos recorrían cierta distancia, y así obtener la velocidad promedio a la que circulan estos vehículos durante la hora pico, debido a que cada uno de los nueve puntos son vías urbanas y se encuentran en la clasificación tipo IV, ya se cuentan con los datos necesarios para asignarles un nivel de servicio.

Tabla 9.

Niveles de servicio para clasificación de vías urbanas

Tabla 15.2 HCM 2000 NDS para vías Urbanas				
Clasificación	I	II	III	IV
Rango velocidades	90-70	70-55	55-50	55-40
Flujo Libre	80	65	55	45
NDS	Promedio de velocidades			
A	>72	>59	>50	>41

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

Tabla 10.*NDS*

NDS para vías urbanas tipo IV		
Punto de aforo	V prom (km/h)	NDS
Floridablanca		
1	35.53	B
2	31.61	C
3	31.54	C
Girón		
1	30.74	C
2	32.87	B
3	29.45	C
Piedecuesta		
1	27.65	C
2	24.7	C
3	36.9	B

La Tabla 10 presenta los NDS obtenidos con base en el HCM 2000 para cada uno de los tres puntos aforados por municipio en la presente investigación, el cual clasifica los NDS de acuerdo con las velocidades promedio obtenidas en campo para cada uno de los puntos aforados (Ver Tabla 9).

4.2. Factor Horario de Máxima Demanda (FHMD)

Una vez tabulados los datos recolectados en campo para cada uno de los nueve puntos aforados se procede a identificar la hora en la que se presenta el Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD); la tasa de flujo se tomó cada 15 minutos, así que:

$$VHMD = Q15_1 + Q15_2 + Q15_3 + Q15_4$$

También se halla el Factor Horario de Máxima Demanda (FHMD), el cual nos indica que tan constante o estable es el flujo vehicular; un valor cercano a 1 quiere decir que el flujo de vehículos es constante, y valores menores significan mayor variabilidad.

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q15_{m\acute{a}x})}$$

Donde N es el número de periodos Q15 que caben durante una hora y $Q15_{m\acute{a}x}$ es el flujo máximo que se presenta en la hora pico.

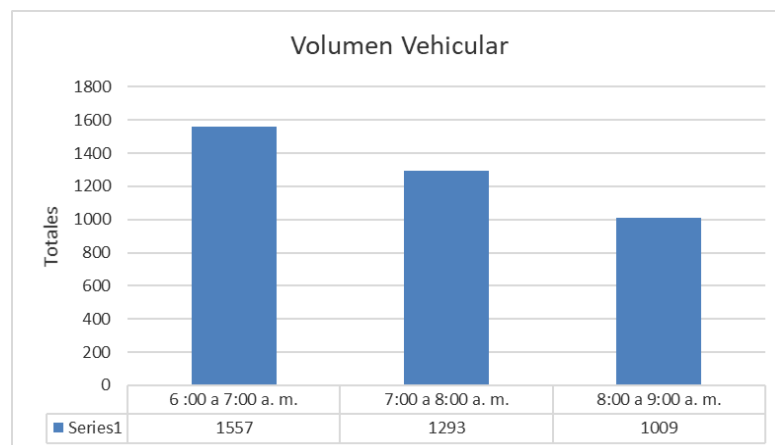
A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los puntos aforados:

- Floridablanca:

Primer punto (Av El Tejar entre calle 126 y carrera 45):

Figura 17.

Volumen vehicular



Tablas 11.*VHMD y FHMD*

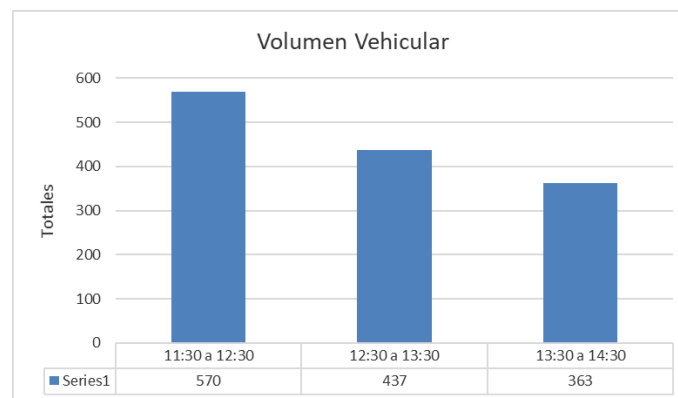
VHMD y tasas de flujo Periodos de 15 minutos	
Hora (am)	Q15
6:15	316
6:30	371
6:45	424
7:00	446
VHMD	1557
FHMD	0.87

El FHMD para el primer punto aforado en Floridablanca se encuentra dentro del rango 0.80-0.98, lo cual es excelente para vías urbanas, al indicarnos un flujo de vehículos uniforme.

$$VHMD = 316 + 371 + 424 + 446 = 1557$$

$$FHMD = \frac{1557}{4(446)} = 0.873$$

Segundo punto (Carrera 8 entre calles 5 y 6):

Figura 18.*Volumen vehicular*

Tablas 12.*VHMD y FHMD*

VHMD y tasas de flujo Periodos de 15 minutos	
Hora (pm)	Q15
11:45	102
12:00	134
12:15	172
12:30	162
VHMD	570
FHMD	0.83

El FHMD para el segundo punto aforado en Floridablanca se encuentra dentro del rango 0.80-0.98, lo cual es excelente para vías urbanas, al indicarnos un flujo de vehículos uniforme.

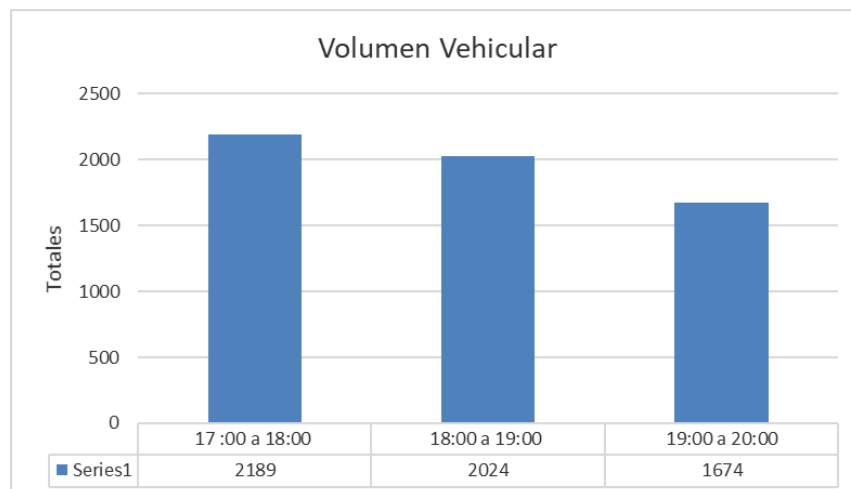
Tercer punto (Transversal El Bosque frente a la clínica Ardila Lülle):**Figura 19.***Volumen vehicular*

Tabla 13.*VHMD y FHMD*

VHMD y tasas de flujo	
Periodos de 15 minutos	
Hora (pm)	Q15
5:15	560
5:30	564
5:45	540
6:00	525
VHMD	2189
FHMD	0.97

El FHMD para el tercer punto aforado en Floridablanca se encuentra dentro del rango 0.80-0.98, lo cual es excelente para vías urbanas, al indicarnos un flujo de vehículos uniforme.

- Girón:

Primer punto (Av Los Caneyes frente a Metro):

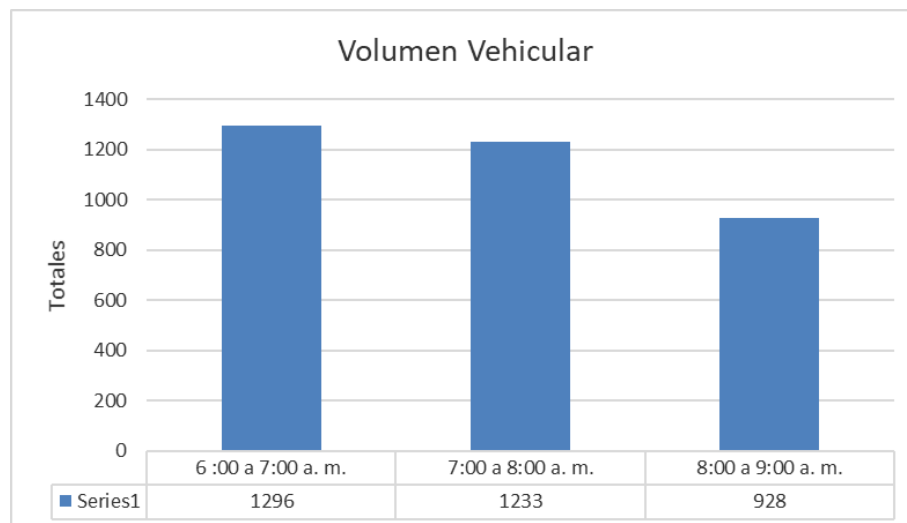
Figura 20.*Volumen vehicular*

Tabla 14.*VHMD y FHMD*

VHMD y tasas de flujo Periodos de 15 minutos	
Hora (am)	Q15
6:15	306
6:30	306
6:45	359
7:00	325
VHMD	1296
FHMD	0.90

El FHMD para el primer punto aforado en Girón se encuentra dentro del rango 0.80-0.98, lo cual es excelente para vías urbanas, al indicarnos un flujo de vehículos uniforme.

Segundo punto (Carrera 26 entre calles 18 y 19):

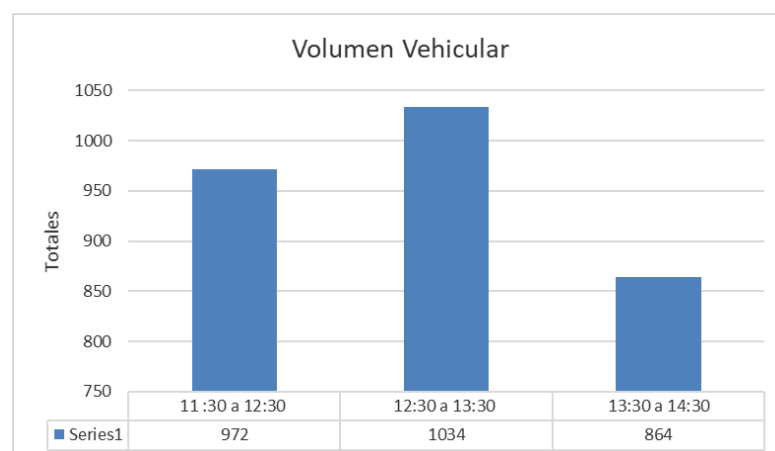
Figura 21.*Volumen vehicular*

Tabla 15.*VHMD y FHMD*

VHMD y tasas de flujo Periodos de 15 minutos	
Hora (pm)	Q15
12:45	244
1:00	269
1:15	284
1:30	237
VHMD	1034
FHMD	0.91

El FHMD para el segundo punto aforado en Girón se encuentra dentro del rango 0.80-0.98, lo cual es excelente para vías urbanas, al indicarnos un flujo de vehículos uniforme.

Tercer punto (Calle 44 entre carreras 23 y 26):

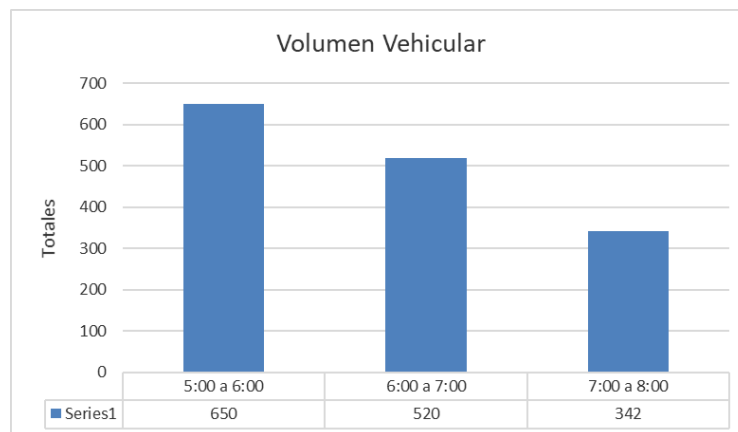
Figura 22.*Volumen vehicular*

Tabla 16.*VHMD y FHMD*

VHMD y tasas de flujo Periodos de 15 minutos	
Hora (am)	Q15
5:15	137
5:30	162
5:45	179
6:00	172
VHMD	650
FHMD	0.91

El FHMD para el tercer punto aforado en Girón se encuentra dentro del rango 0.80-0.98, lo cual es excelente para vías urbanas, al indicarnos un flujo de vehículos uniforme.

- Piedecuesta:

Primer punto (Calle 10 entre carreras 7 y 8):

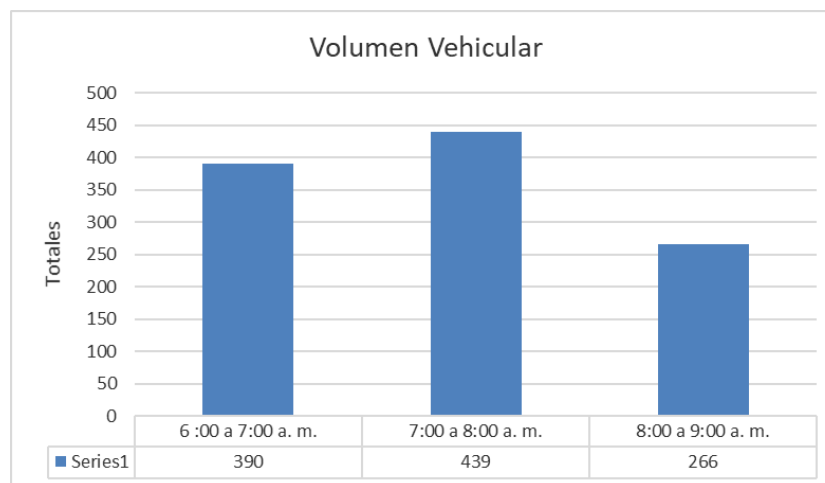
Figura 23.*Volumen vehicular*

Tabla 17.*VHMD y FHMD*

VHMD y tasas de flujo Periodos de 15 minutos	
Hora (am)	Q15
7:15	128
7:30	158
7:45	72
8:00	81
VHMD	439
FHMD	0.69

El FHMD para el primer punto aforado en Piedecuesta se encuentra fuera del rango 0.80-0.98, es decir que existen concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora.

Segundo punto (Carrera 6 entre calles 9 y 10):

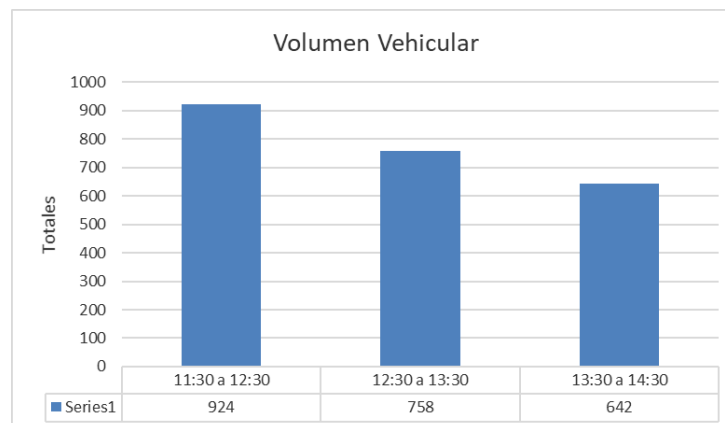
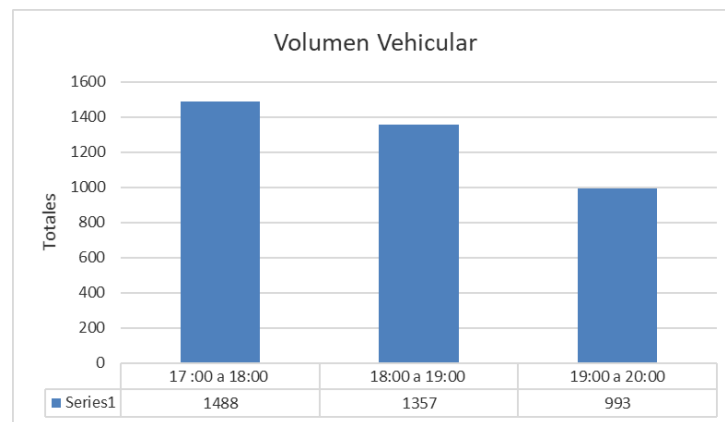
Figura 24.*Volumen vehicular*

Tabla 18.*VHMD y FHMD*

VHMD y tasas de flujo	
Periodos de 15 minutos	
Hora	Q15
11:45	253
12:00	188
12:15	258
12:30	225
VHMD	924
FHMD	0.90

El FHMD para el segundo punto aforado en Piedecuesta se encuentra dentro del rango 0.80-0.98, lo cual es excelente para vías urbanas, al indicarnos un flujo de vehículos uniforme.

Tercer punto (Carrera 8 entre calles 0 y 1):

Figura 25.*Volumen vehicular*

Tablas 19.*VHMD y FHMD*

VHMD y tasas de flujo Periodos de 15 minutos	
Hora (pm)	Q15
5:15	347
5:30	398
5:45	337
6:00	406
VHMD	1488
FHMD	0.92

El FHMD para el tercer punto aforado en Piedecuesta se encuentra dentro del rango 0.80-0.98, lo cual es excelente para vías urbanas, al indicarnos un flujo de vehículos uniforme. Según los resultados obtenidos para los nueve puntos aforados, se observa que todos presentan un flujo uniforme al encontrarse dentro del rango 0.80-0.98, a excepción del primer punto aforado en el municipio de Piedecuesta.

4.3. Factor de conversión

Se presenta a continuación un paso a paso para el cálculo del factor de conversión.

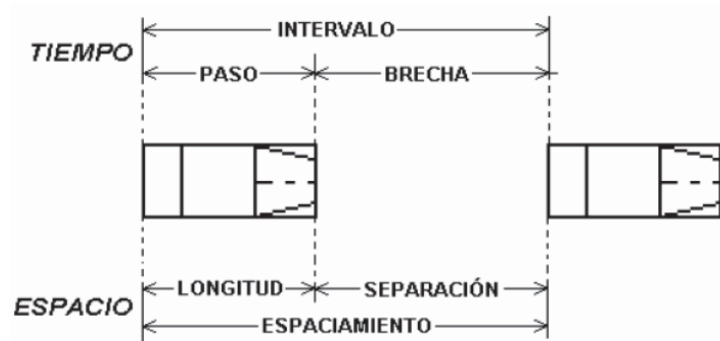
4.3.1. Material videográfico

Con los datos recolectados en campo por medio de los aforos realizados, y una vez identificadas las horas pico, además de definir los periodos en los cuales los flujos son máximos, se procede a realizar videos en dichos periodos. Estos videos deben enfocar la vía de interés de tal manera que se pueda apreciar la longitud de los vehículos, la separación entre ellos y la infraestructura, además de la cantidad de carriles. Para esto se usó una cámara GoPro ya que cuenta con un lente de gran amplitud y resolución que nos permite capturar todas las variables necesarias para la obtención del factor de conversión.

Figura 26.*Registro videográfico*

4.3.2 Procesamiento manual-automático

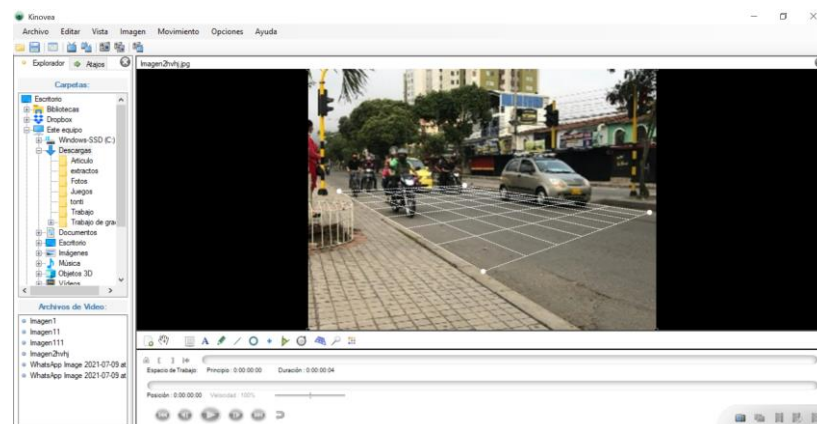
Con ayuda del material videográfico y el software Kinovea se halla el espaciamiento efectivo y la velocidad de cada vehículo (Visualbeta, 2021). Esta gran herramienta cuenta con un conjunto de funciones que nos permiten tomar datos de tiempo de separación entre el parachoques delantero del vehículo seleccionado y el parachoques trasero del vehículo que se encuentra adelante, a este dato se le suma la longitud del vehículo seleccionado y se obtiene el espaciamiento o largo efectivo, también conociendo el ancho efectivo, lo multiplicamos por el espaciamiento y el resultado será el espacio efectivo.

Figura 27.*Variable*

Nota: Adaptado de Yarce (2015). Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas. Aplicación en la ciudad de Medellín [Tesis de maestría], Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

4.3.3 Espacio efectivo y velocidad

Luego de analizar los videos, a partir de los tiempos de recorrido y la longitud del tramo, se calculó la velocidad media de los vehículos y el espacio efectivo que necesitan en función de dicha velocidad.

Figura 28.*Interfaz de Kinovea*

Una vez obtenidos los datos se puede exportar la información en un formato mkb, el cual permite ser leído en Excel, se relaciona gráficamente la velocidad y espacio efectivo de las motocicletas y los automóviles livianos, con la respectiva ecuación que refleja dicha tendencia. Los resultados obtenidos para cada uno de los nueve puntos aforados y un resultado general por municipio fueron:

- Floridablanca:

Figura 29.

Velocidad vs Espacio efectivo primer punto Floridablanca

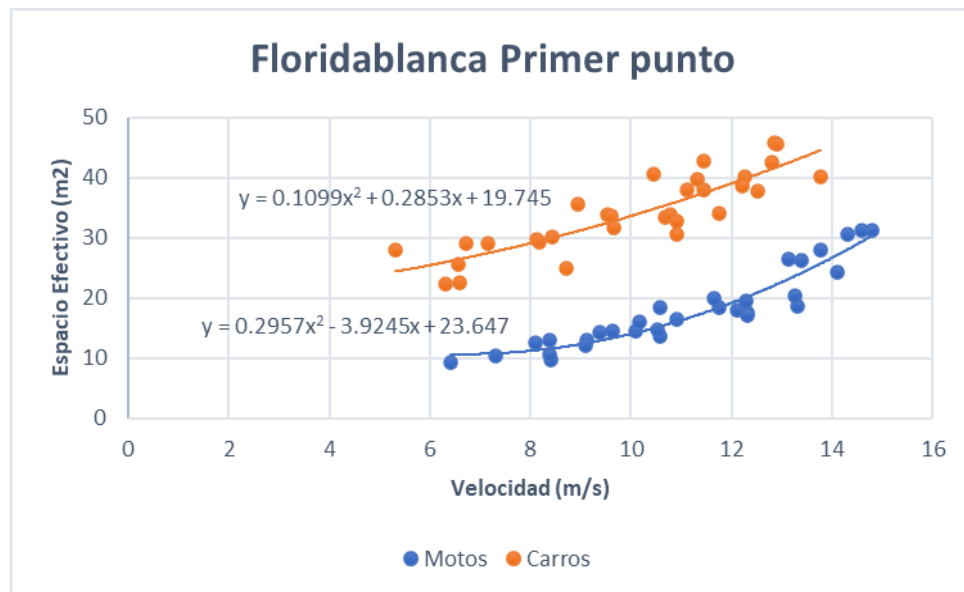
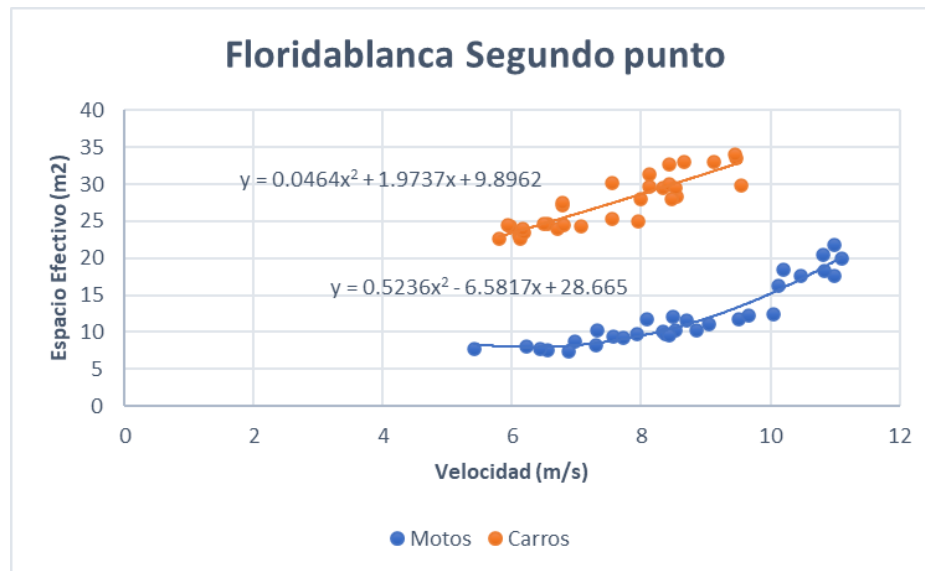


Figura 30.

Velocidad vs Espacio efectivo segundo punto Floridablanca

**Figura 31.**

Velocidad vs Espacio efectivo tercer punto Floridablanca

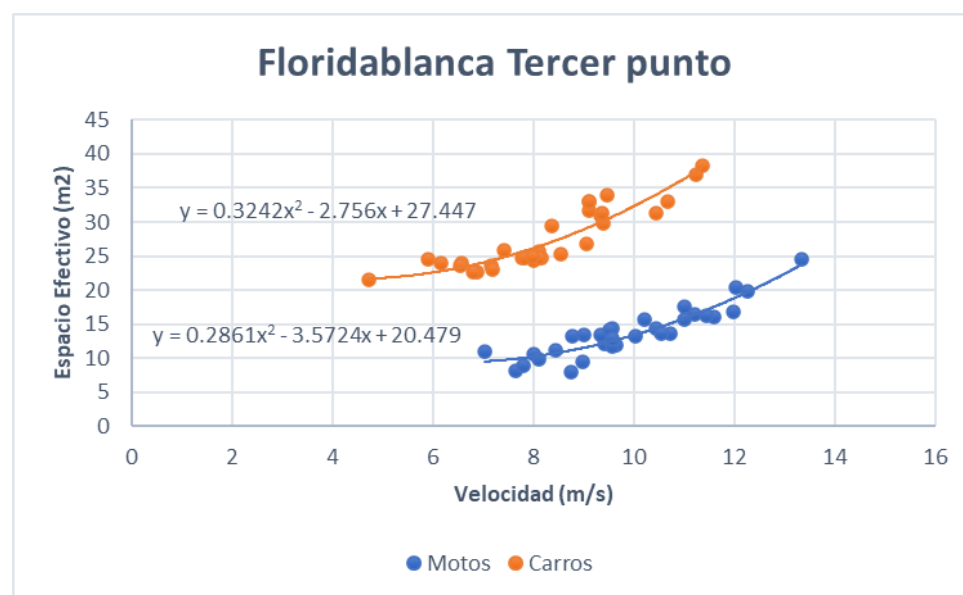
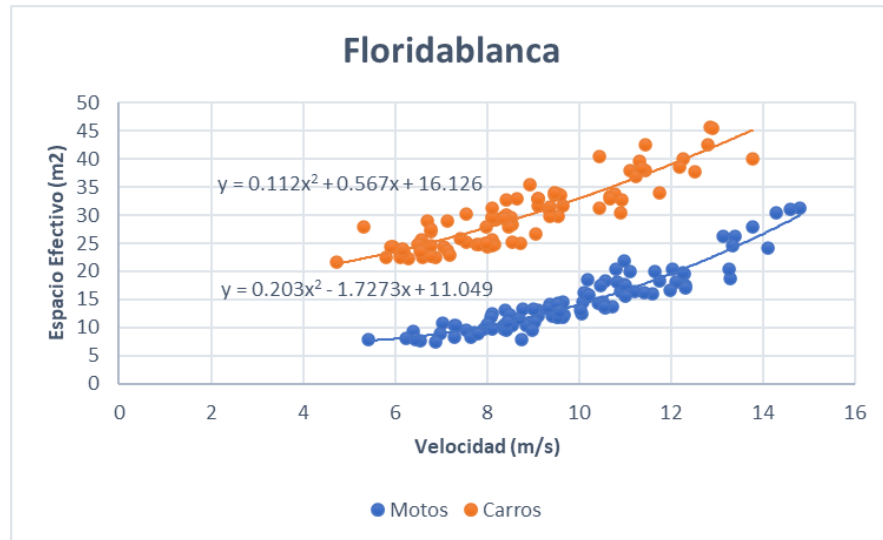


Figura 32.*Velocidad vs Espacio efectivo Floridablanca*

- Girón:

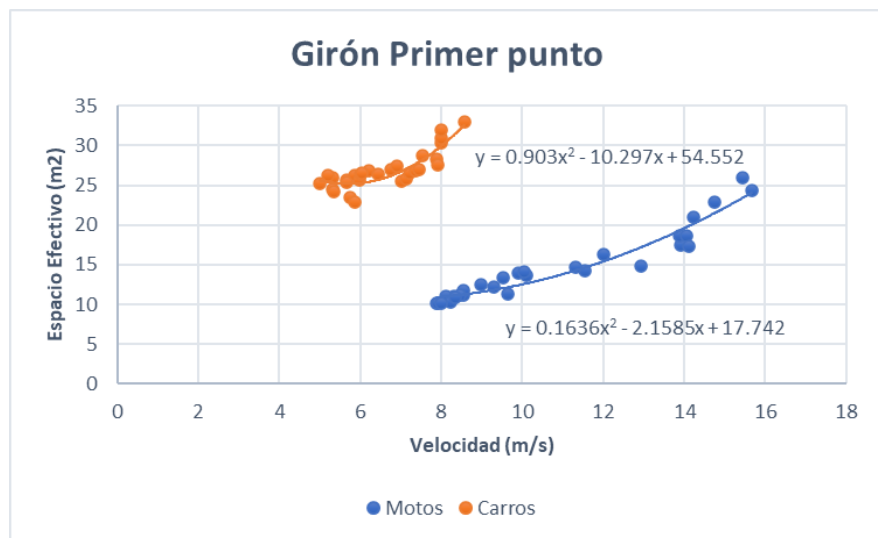
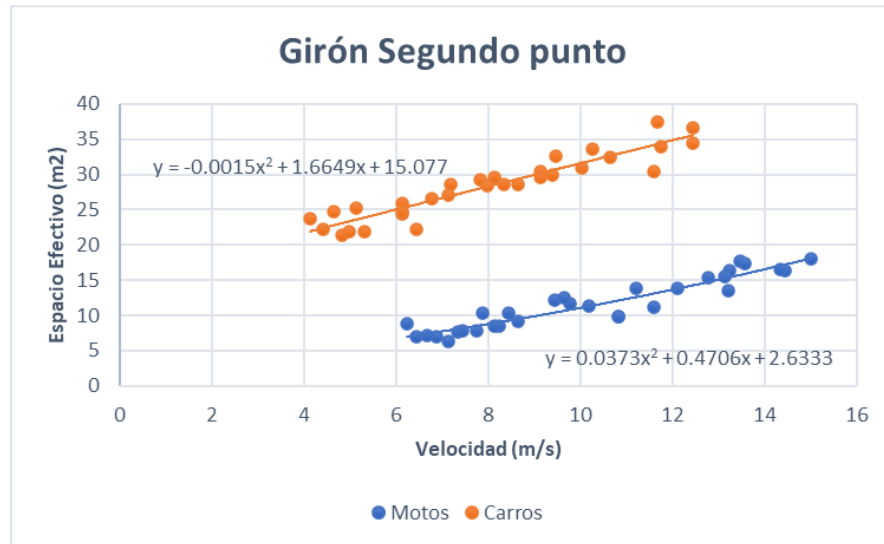
Figura 33.*Velocidad vs Espacio efectivo primer punto Girón*

Figura 34.

Velocidad vs Espacio efectivo segundo punto Girón

**Figura 35.**

Velocidad vs Espacio efectivo tercer punto Girón

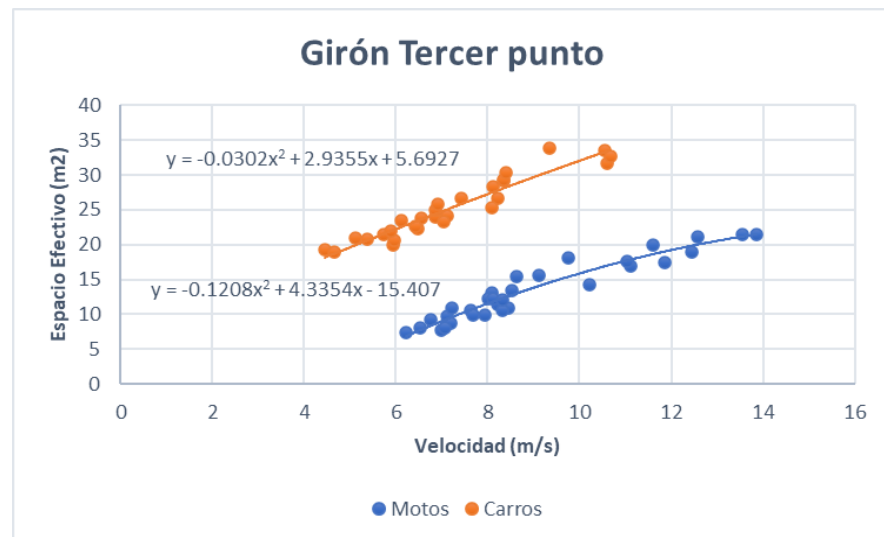
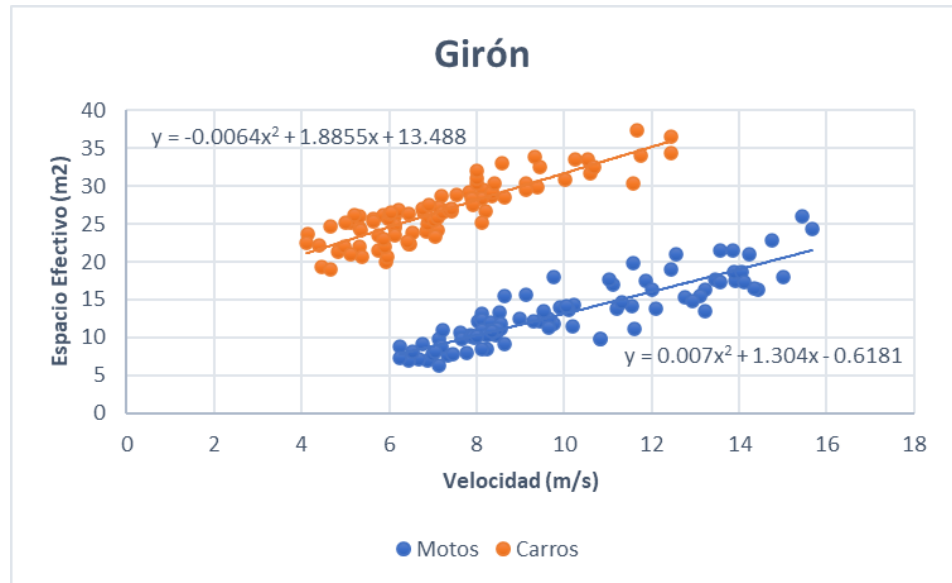


Figura 36.

Velocidad vs Espacio efectivo Girón



- Piedecuesta:

Figura 37.

Velocidad vs Espacio efectivo primer punto Piedecuesta

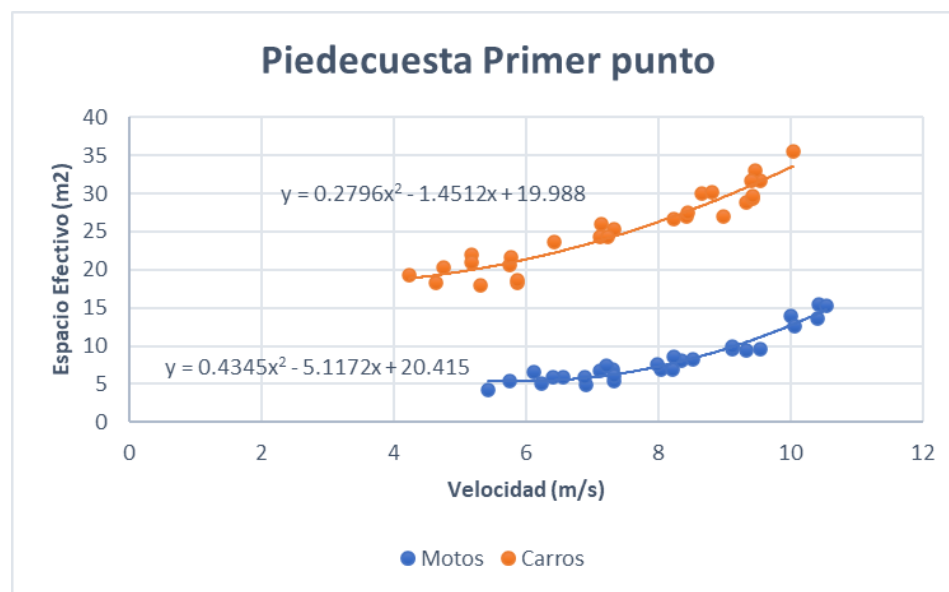
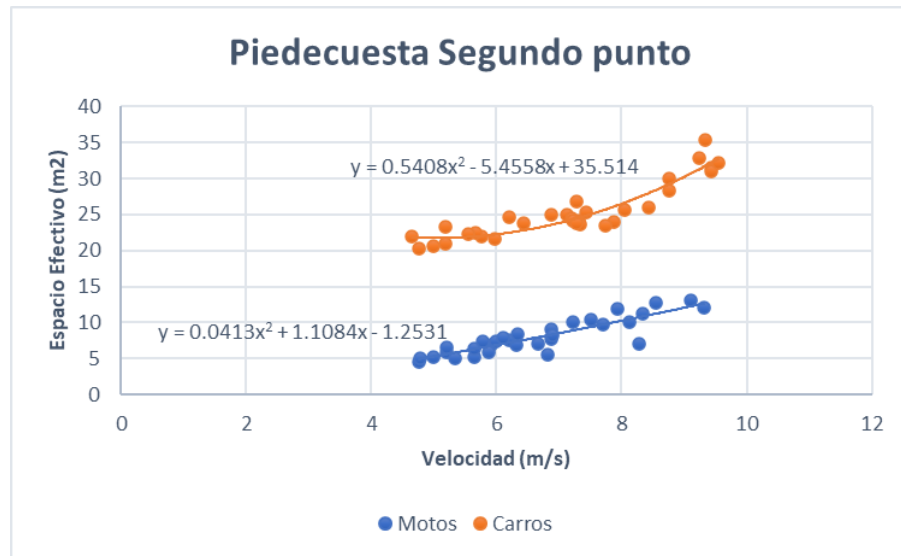


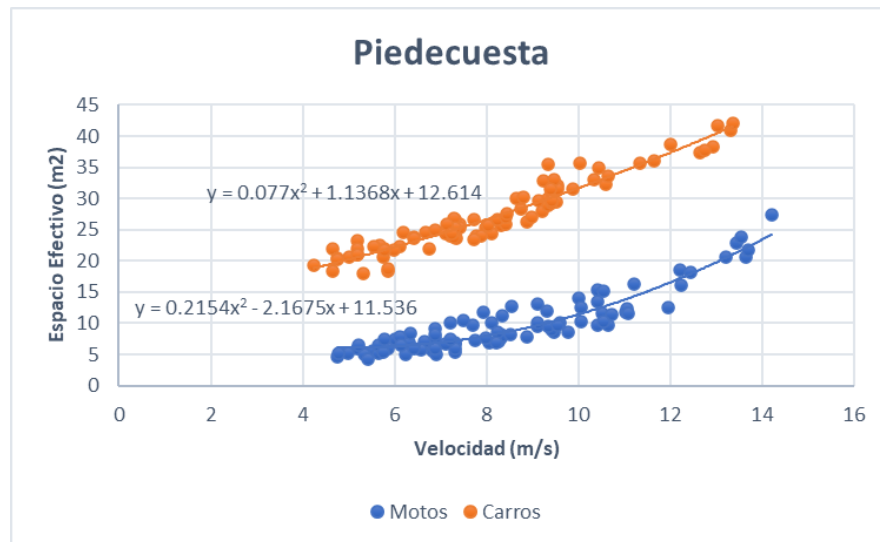
Figura 38.

Velocidad vs Espacio efectivo segundo punto Piedecuesta

**Figura 39.**

Velocidad vs Espacio efectivo tercer punto Piedecuesta



Figura 40.*Velocidad vs Espacio efectivo Piedecuesta*

La siguiente tabla muestra las ecuaciones obtenidas para cada uno de los municipios en general, estas relacionan la velocidad (X) y el espacio efectivo (Y), según el tipo de vehículo analizado.

Tabla 20.*Ecuaciones del espacio efectivo*

Floridablanca	
Motocicletas:	$Y = 0.203X^2 - 1.7273X + 11.049$
Autos Livianos:	$Y = 0.112X^2 + 0.567X + 16.126$
Girón	
Motocicletas:	$Y = 0.0104X^2 + 1.3746X - 0.6855$
Autos Livianos:	$Y = -0.0064X^2 + 1.8855X + 13.488$
Piedecuesta	
Motocicletas:	$Y = 0.2154X^2 - 2.1675X + 11.536$
Autos Livianos:	$Y = 0.077X^2 + 1.1368X + 12.614$

Las ecuaciones presentadas en la Tabla 20; describen la línea de tendencia de los datos obtenidos con la ayuda del software Kinovea, para los dos tipos de vehículos estudiados en la presente investigación.

4.3.4 Cálculo del factor de conversión

Se presentan las velocidades (m/s) y espacios efectivos (m²) hallados en el numeral anterior; sus valores mínimos, máximos y el promedio aritmético. Ya que es necesario relacionar estos valores para obtener el factor de conversión deseado. Utilizando la velocidad promedio para reemplazarla en las ecuaciones obtenidas en la Tabla 19 y finalmente poder aplicar la ecuación desarrollada por *Chu Cong*, donde relaciona dos tipos de vehículos con sus respectivos espacios efectivos a una misma velocidad, pero tomando como unidad el automóvil liviano.

- Espacio efectivo:

Tabla 21.

Espacios efectivos Floridablanca

	Floridablanca								
	Primer punto			Segundo punto			Tercer punto		
	Mín	Prom	Máy	Mín	Prom	Máy	Mín	Prom	Máy
Moto	9.34	18.06	31.21	7.37	12.19	21.82	7.87	13.81	24.60
Carro	22.2	34.15	45.76	22.59	27.48	33.96	21.6	27.55	38.31

La Tabla 21, presenta los valores mínimos, máximos y promedios aritméticos de los espacios efectivos, para cada uno de los puntos aforados en Floridablanca, según el tipo de vehículo.

Espacios efectivos Girón

Espacios efectivos Piedecuesta

Velocidades Floridablanca

	Floridablanca								
	Primer punto			Segundo punto			Tercer punto		
	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx
Moto	6.4	11.1	14.8	5.32	10	13.77	7.03	9.69	13.35
Carro	5.41	8.64	11.1	5.8	7.56	9.54	4.73	7.83	11.36
Prom	9.87			8.78			8.76		
	8.01								

La Tabla 24, presenta los valores mínimos, máximos y promedios aritméticos de las velocidades, para cada uno de los puntos aforados en Floridablanca, según el tipo de vehículo.

Tabla 25.

Velocidades Girón

	Girón								
	Primer punto			Segundo punto			Tercer punto		
	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx
Moto	7.23	10.6	15.67	6.23	10.19	15	6.23	9.19	13.87
Carro	4.11	6.48	8.57	4.13	8.06	12.45	4.45	7.17	10.67
Prom	8.54			9.13			8.18		
	7.24								

La Tabla 25, presenta los valores mínimos, máximos y promedios aritméticos de las velocidades, para cada uno de los puntos aforados en Girón, según el tipo de vehículo.

Tabla 26.

Velocidades Piedecuesta

	Piedecuesta								
	Primer punto			Segundo punto			Tercer punto		
	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx	Mín	Prom	Máx
Moto	5.43	7.99	10.54	4.76	6.56	9.32	6.54	10.78	14.21
Carro	4.23	7.37	10.04	4.65	7.16	9.54	5.77	9.72	13.37
Prom	7.68			6.86			10.25		
	8.08								

La Tabla 26, presenta los valores mínimos, máximos y promedios aritméticos de las velocidades, para cada uno de los puntos aforados en Piedecuesta, según el tipo de vehículo.

Cumpliendo con el objetivo general de la presente investigación se determina un factor de conversión de motocicleta a autos livianos por municipio.

Tabla 27.*Factores de conversión*

	Auto liviano	Motocicleta
Floridablanca	1	0.37
Girón	1	0.34
Piedecuesta	1	0.30

Podemos observar en la Tabla 27, que según la presente investigación un automóvil liviano equivale a 0.37, 0.34 y 0.30 motocicletas, en los municipios de Floridablanca, Girón y Piedecuesta respectivamente.

5. Conclusiones

Para una misma vía el NDS varía según la manera en la que se determine, ya que muchas veces se logra una cierta comodidad por la velocidad a la que se circula, pero un leve aumento de esta o las acciones de los demás conductores pueden afectar considerablemente esta comodidad.

Los puntos aforados presentan un flujo vehicular relativamente uniforme, ya que los factores horarios de máxima demanda (FHMD) se encontraban todos entre 0.8 y 0.9, a excepción del primer punto aforado en Piedecuesta, este valor fue 0.69.

El espacio efectivo que requiere un vehículo para transitar y la velocidad a la que este circula son directamente proporcionales, como se puede observar en las figuras que relacionan estas dos variables.

El método empleado para la determinación del factor de conversión que se utilizó es el basado en el espacio efectivo y la velocidad, ya que se adapta al tráfico mixto que caracteriza a los municipios de Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

El factor de conversión que arrojó la presente investigación para el municipio de Floridablanca fue que un automóvil liviano equivale a 0.37 motocicletas.

El factor de conversión que arrojó la presente investigación para el municipio de Girón fue que un automóvil liviano equivale a 0.34 motocicletas.

El factor de conversión que arrojó la presente investigación para el municipio de Piedecuesta fue que un automóvil liviano equivale a 0.30 motocicletas.

A pesar de que los tres factores de conversión encontrados son similares, presentan diferencias debido a que el factor de conversión determinado en la presente investigación es

dinámico, y está en función del espacio efectivo y la velocidad de los vehículos de cada uno de los municipios, en los cuales se desarrolló el estudio.

Los factores de conversión encontrados en la presente investigación fueron 0.37, 0.34 y 0.30, para los municipios de Floridablanca, Girón y Piedecuesta respectivamente. Dichos valores se encuentran por debajo de los factores de conversión utilizados en otros países como por ejemplo Estados Unidos (0.5), ya que asumen para las motocicletas comportamientos que muchas veces no ocurren en nuestro país, y el porcentaje que circulan en las vías de este tipo de vehículos es menor.

Debido al COVID-19 los datos recolectados en campo pueden presentar variaciones en un futuro medianamente cercano, si se consigue volver a la “normalidad”, aunque los resultados obtenidos se encuentran dentro de un orden de magnitud lógica, en comparación con otras latitudes

Las motocicletas generan demoras adicionales en los automóviles, pero se ven menos afectadas por la congestión vehicular que presentan nuestras vías.

Las motocicletas tienen un mayor impacto en los automóviles cuando transitan dentro de los carriles.

En países que se encuentran en vía de desarrollo, la motocicleta permite la posibilidad de desplazarse más eficientemente a aquellas personas que no tienen acceso al transporte público o automóvil.

6. Recomendaciones

En un futuro con la mayoría de la población vacunada contra el COVID-19 y con menos restricciones, se podría realizar nuevamente los aforos y comparar los resultados obtenidos.

Es importante que las personas encargadas de la recolección de datos en campo estén totalmente capacitadas y tengan todo el conocimiento de las variables a tener en cuenta.

Usar un software que permita que el procesamiento de datos sea manual-automático. En la presente investigación se utilizó el software Kinovea.

En un futuro se podría determinar factores de conversión de motocicletas a automóviles livianos en vías rurales.

La motocicleta es un vehículo que prácticamente llevo para quedarse por razones socioeconómicas, donde esta clase de estudios sobre equivalencias puede llegar a servir para otros sobre movilidad y transitabilidad.

Referencias Bibliográficas

- Agudelo, Ana. (2006). Análisis integral del estado de la Avenida Alberto Mendoza Hoyos sector túneles del batallón Ayacucho-glorieta expoferias [Tesis de especialización], Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Branston, D., & Van Zuylen, H. (1978). The estimation of saturation flow, effective green time and passenger car equivalents at traffic signals by multiple linear regression. *Transportation Research*, 12(1), 47-53.
- Cal, R., Reyes, M., & Cárdenas, J. (2007). Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones. México 8ª edición. Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.
- Chu, C., Sano, K., Tran, T & Mastumoto, S. (2009). Development of Motorcycle Unit (MCU) For Motorcycle-Dominated Traffic. In Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 7 (The 8th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2009) (pp. 306-306). Eastern Asia Society for Transportation Studies.
- Comité de Ensambladoras de Motocicletas Japonesas. (2014). Octavo Estudio Sociodemográfico de los Usuarios de Motos en Colombia. CEMJ.
- García, M. (2008). Análisis de alternativas y diseño funcional de un motovía en la ciudad de Cali, Cali: Corporación Fondo de Prevención Vial.
- Highway capacity manual. (2000). Manual de capacidad para carreteras, National Research Council, Washington, D. C., USA, TRB.
- Huber, M. (1982). *Estimation of passenger-car equivalents of trucks in traffic stream (discussion and closure)* (No. 869).

- India Infrastructure. (2001). Report, s.l, Oxford University Press.
- Lee, T. (2007). An agent-based model to simulate motorcycle behaviour in mixed traffic flow (Doctoral dissertation, Imperial College London (University of London)).
- McShane, W., & Roess, R. (1990). Ingeniería de Transito, 4^a ed. New Jersey. Editorial Englewood Cliffs.
- Minh, C. C., & Sano, K. (2003). Analysis of motorcycle effects to saturation flow rate at signalized intersection in developing countries. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 1211-1222.
- Minh, C., Sano, K., & Matsumoto, S. (2005). The speed, flow and headway analyses of motorcycle traffic. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 1496-1508.
- Nguyen, Y., Kazushi, S., Tran, V. & Nguyen V. (2009). Estimating capacity and vehicle equivalent unit by motorcycles at road segments in urban road. Department of Civil and Environmental Engineering.
- Peña, A. (2014). Determinación del factor de equivalencia de motocicletas en flujo ininterrumpido en vías con pendientes 0% de 3 carriles en Colombia [Tesis de maestría], Universidad de los Andes, Bogotá.
- Powell, M. (1999). A model to represent motorcycle behaviour at signalised intersections incorporating an amended first order macroscopic approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 34(7), 497-514.
- Putra, S. (2011). The correction value of passenger-car equivalents for motorcycle and its impact to road performance in developing countries. *Procedia-social and behavioral sciences*, 16, 400-408.

- Rahman, M. M., & Nakamura, F. (2005). Measuring passenger car equivalents for nonmotorized vehicle (rickshaws) at mid-block sections. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 119-126.
- Registro Único Nacional de Transito. (8 de marzo de 2021). *Parque automotor registrado en RUNT*. RUNT.
- Revista Moto. (9 de marzo de 2021). *Países con mayores números de motocicletas*. Revista Moto.
- Rodríguez J., & Benekohal, R. (2004). Development of delay based passenger car equivalencies methodology for urban buses.
- Rongviriyapanich, T., & Suppattrakul, C. (2005). Effects of Motorcycles on Traffic Operations on Arterial Streets. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*.
- Sánchez, L. (2018). Determinación de los factores de equivalencia vehicular en las principales carreteras rurales de dos carriles que acceden a la ciudad de Santa Clara [Tesis de pregrado], Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara.
- Shalini, K., & Kumar, B. (2014). Estimation of the passenger car equivalent: a review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(6), 97-102.
- Sikdar, S. (2000). Factors affecting PCU in mixed traffic Situations. *Road & Transport Research*, 9(3), 40.
- Songsakdi, R., Rongviriyapanich, T., & Sompakdee, P. (2010). Microscopic simulation for modeling effects of motorcycles on traffic operations at signalized intersection. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 8, 1714-1721.

- Tan, D. T., Tu, T. V., & Sano, K. (2018). Estimation of Motorcycle Equivalent Units on Urban Streets. *Asian Transport Studies*.
- Urban Roads. (2007). Specifications for design (TCXDVN 104 - 2007). Vietnam construction standard.
- Velandia, P. J. (2014). Criterios metodológicos para involucrar el factor moto en los estudios de tránsito en Bogotá. *Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola*.
- Visualbeta. (1 de junio de 2021). *Análisis de videos deportivos*. Kinovea
- Yarce, Y. (2015). Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas. Aplicación en la ciudad de Medellín [Tesis de maestría], Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Apéndices

Apéndice A.

Aforos vehiculares

- Girón
- Primer punto:

VOLUMENES DE TRANSITO. AVENIDA LOS CANEYES FRENTE A METRO (OESTE-ESTE)							
Fecha: (D.M.A.)	21/04/2021	Hora Inicio:	6:00 a. m.	Localización	Girón	Hoja:	1
Día:	Miércoles	Hora Final:	9:00 p. m.			De:	1
Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	CICLAS	C-2G	MOTOS
6:00-6:15	41	114	12	1	2	7	129
6:15-6:30	57	89	25	4	3	6	122
6:30-6:45	44	124	24	4	4	3	156
6:45-7:00	53	101	25	4	3	6	133
7:00-7:15	63	101	23	3	7	7	113
7:15-7:30	70	111	24	2	3	3	109
7:30-7:45	70	95	18	1	3	5	111
7:45-8:00	58	90	27	2	6	4	104
8:00-8:15	53	84	23	1	2	2	98
8:15-8:30	44	64	18	2	3	1	109
8:30-8:45	54	59	16	2	2	0	91
8:45-9:00	42	41	14	1	1	1	100
TOTALES	649	1073	249	27	39	45	1375

- Segundo punto:

VOLUMENES DE TRANSITO. CARRERA 26 ENTRE CALLES 18 Y 19 (NORTE-SUR)							
Fecha: (D.M.A.)	21/04/2021	Hora Inicio:	11:30 a. m.	Localización	Girón	Hoja:	1
Día:	Miércoles	Hora Final:	2:30 p. m.			De:	1
Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	CICLAS	C-2G	MOTOS
11:30-11:45	25	49	9	1	1	0	129
11:45-12:00	29	54	11	2	5	1	122
12:00-12:15	33	61	10	1	2	2	156
12:15-12:30	44	66	8	1	3	2	133
12:30-12:45	45	41	9	2	4	3	113
12:45-13:00	33	69	11	2	5	2	109
13:00-13:15	32	71	9	4	2	1	111
13:15-13:30	37	73	6	2	0	0	104
13:30-13:45	25	71	8	2	5	1	98
13:45-14:00	28	62	12	1	7	2	109
14:00-14:15	19	69	5	2	4	2	91
14:15-14:30	13	55	7	1	6	0	100
TOTALES	363	741	105	21	44	16	1375

- Tercer punto:

VOLUMENES DE TRANSITO. CALLE 44 ENTRE CARRERAS 23 Y 26 (ESTE-OESTE)

Fecha: (D.M.A.)	21/04/2021	Hora Inicio:	5:00 p. m.	Localización	Girón	Hoja:	1
Día:	Miércoles	Hora Final:	8:00 p. m.			De:	1

Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	CICLAS	C-2G	MOTOS
5:00-5:15	25	39	3	4	1	1	64
5:15-5:30	30	48	4	3	2	1	74
5:30-5:45	36	53	4	2	4	3	77
5:45-6:00	41	51	4	1	7	3	65
6:00-6:15	40	43	3	1	3	1	70
6:15-6:30	29	33	4	2	0	0	58
6:30-6:45	22	37	5	4	3	2	56
6:45-7:00	16	27	4	1	1	1	54
7:00-7:15	22	25	2	1	2	3	52
7:15-7:30	18	22	4	2	0	0	40
7:30-7:45	15	17	5	1	1	1	35
7:45-8:00	9	18	2	1	1	2	41
TOTALES	303	413	44	23	25	18	686

- Floridablanca:
- Primer punto:

VOLUMENES DE TRANSITO. AVENIDA EL TEJAR ENTRE CALLE 126 Y CARRERA 45 (SUR-NORTE)							
Fecha: (D.M.A.)	22/04/2021	Hora Inicio:	6:00 a. m.	Localización	F/blanca	Hoja:	1
Día:	Jueves	Hora Final:	9:00 a. m.			De:	1
Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	CICLAS	C-2G	MOTOS
6:00-6:15	36	44	6	2	1	2	225
6:15-6:30	50	53	4	2	1	3	258
6:30-6:45	62	73	9	3	2	2	273
6:45-7:00	62	81	11	3	3	4	282
7:00-7:15	59	69	5	2	0	4	236
7:15-7:30	35	77	4	3	1	5	227
7:30-7:45	34	79	5	1	1	3	136
7:45-8:00	63	105	7	3	4	1	124
8:00-8:15	53	92	6	2	1	2	130
8:15-8:30	42	84	6	1	0	0	135
8:30-8:45	25	53	7	1	2	2	143
8:45-9:00	36	31	5	0	0	1	149
TOTALES	557	841	75	23	16	29	2318

- Segundo punto:

VOLUMENES DE TRANSITO. CARRERA 8 ENTRE CALLES 5 Y 6 (SUR-NORTE)							
Fecha: (D.M.A.)	22/04/2021	Hora Inicio:	11:30 a. m.	Localización	F/blanca	Hoja:	1
Dia:	Jueves	Hora Final:	2:30 p. m.			De:	1
Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	CICLAS	C-2G	MOTOS
11:30-11:45	8	35	4	2	0	1	52
11:45-12:00	13	44	3	3	1	5	65
12:00-12:15	26	55	3	1	0	2	85
12:15-12:30	18	51	2	2	3	4	82
12:30-12:45	17	46	4	3	0	2	61
12:45-13:00	9	33	3	2	3	0	66
13:00-13:15	7	24	2	1	2	1	43
13:15-13:30	12	30	1	1	0	0	64
13:30-13:45	7	32	4	1	1	0	44
13:45-14:00	15	23	3	2	0	0	58
14:00-14:15	11	34	2	1	1	1	41
14:15-14:30	8	25	2	1	0	0	46
TOTALES	151	432	33	20	11	16	707

- Tercer punto:

VOLUMENES DE TRANSITO. TRANSVERSAL EL BOSQUE FRENTE A LA CLINICA ARDILA LÜLLE (OESTE-ESTE)							
Fecha: (D.M.A.)	22/04/2021	Hora Inicio:	5:00 p. m.	Localización	F/blanca	Hoja:	1
Día:	Jueves	Hora Final:	8:00 p. m.			De:	1
Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	CICLAS	C-2G	MOTOS
5:00-5:15	64	192	4	4	4	1	291
5:15-5:30	63	207	3	4	8	4	275
5:30-5:45	52	209	2	6	11	14	246
5:45-6:00	67	194	4	5	1	2	252
6:00-6:15	79	187	5	7	2	0	317
6:15-6:30	53	217	8	2	2	7	232
6:30-6:45	54	191	4	1	0	4	173
6:45-7:00	79	161	3	3	2	0	231
7:00-7:15	75	147	2	4	0	0	223
7:15-7:30	81	153	2	3	2	1	199
7:30-7:45	53	178	3	3	1	0	158
7:45-8:00	55	164	1	2	5	2	157
TOTALES	775	2200	41	44	38	35	2754

- Piedecuesta:
- Primer punto:

VOLUMENES DE TRANSITO. CALLE 10 ENTRE CARRERAS 7 Y 8 (OESTE-ESTE)							
Fecha: (D.M.A.)	23/04/2021	Hora Inicio:	6:00 a. m.	Localización	Piedecuesta	Hoja:	1
Día:	Viernes	Hora Final:	9:00 a. m.			De:	1
Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	CICLAS	C-2G	MOTOS
6:00-6:15	7	8	9	3	0	0	26
6:15-6:30	15	16	12	5	5	0	33
6:30-6:45	21	11	17	2	5	2	42
6:45-7:00	27	25	13	6	3	3	74
7:00-7:15	26	17	9	7	7	0	62
7:15-7:30	37	25	16	3	3	2	72
7:30-7:45	15	13	8	2	0	0	34
7:45-8:00	22	8	11	6	2	0	32
8:00-8:15	18	10	15	4	0	0	29
8:15-8:30	15	6	6	4	2	1	36
8:30-8:45	17	9	9	1	0	0	22
8:45-9:00	12	15	13	2	1	2	17
TOTALES	232	163	138	45	28	10	479

- Segundo punto:

VOLUMENES DE TRANSITO. CARRERA 6 ENTRE CALLES 9 Y 10 (NORTE-SUR)							
Fecha: (D.M.A.)	23/04/2021	Hora Inicio:	11:30 a. m.	Localización	Piedecuesta	Hoja:	1
Día:	Viernes	Hora Final:	2:30 p. m.			De:	1
Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	CICLAS	C-2G	MOTOS
11:30-11:45	43	51	2	2	15	4	136
11:45-12:00	31	38	1	1	2	4	111
12:00-12:15	33	61	2	2	7	3	150
12:15-12:30	48	65	2	1	3	0	106
12:30-12:45	37	49	1	2	4	1	108
12:45-13:00	29	36	1	1	2	5	120
13:00-13:15	46	45	1	0	7	0	106
13:15-13:30	22	41	1	1	0	1	91
13:30-13:45	26	45	3	1	1	0	128
13:45-14:00	37	41	1	0	2	0	91
14:00-14:15	31	29	1	1	0	2	74
14:15-14:30	30	24	2	2	1	4	65
TOTALES	413	525	18	14	44	24	1286

- Tercer punto:

VOLUMENES DE TRANSITO. CARRERA 8 ENTRE CALLES 0 Y 1 (NORTE-SUR)							
Fecha: (D.M.A.)	23/04/2021	Hora Inicio:	5:00 p. m.	Localización	Piedecuesta	Hoja:	1
Día:	Viernes	Hora Final:	8:00 p. m.			De:	1
Periodos 15	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	CICLAS	C-2G	MOTOS
5:00-5:15	22	96	2	1	11	2	213
5:15-5:30	49	111	3	0	7	3	225
5:30-5:45	23	98	5	3	2	7	199
5:45-6:00	31	105	1	1	8	3	257
6:00-6:15	22	95	2	2	2	1	215
6:15-6:30	32	71	1	2	6	3	236
6:30-6:45	39	98	1	1	0	3	222
6:45-7:00	30	71	2	2	1	2	195
7:00-7:15	26	85	1	0	3	3	195
7:15-7:30	14	68	2	1	0	0	176
7:30-7:45	22	66	2	4	1	1	137
7:45-8:00	13	47	1	2	2	2	119
TOTALES	323	1011	23	19	43	30	2389