

Diagnósticos de cuellos de botella mediante la caracterización de tres muestras representativas de volúmenes de tránsito del municipio de Bucaramanga

Miguel Saul Prince Aguilar y Daniel Andrés Román Silva

Proyecto de grado para optar al título de profesional en ingeniería Civil

Director:

Luis David Arévalo Durán

Especialista en ingeniería de tránsito y transporte

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingeniería Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

A Dios primeramente por darme la sabiduría, provisión y fuerza para llegar hasta este punto, a mis papás por esforzarse cada día para brindarme lo necesario en este camino.

A mis hermanos por acompañarme en los momentos buenos y difíciles que se presentan en la vida, siendo un apoyo emocional cuando lo necesité.

Gracias a mi cuñado por sus consejos para enfrentar lo que se viene en mi futuro y por ser un apoyo incondicional siempre.

A mis compañeros y amigos en la universidad por las risas, noches de estudio y todo el esfuerzo que pusimos para lograr este sueño.

A mi compañero Daniel y a nuestro director Luis David por la realización de este proyecto de grado.

Miguel Saul Prince Aguilar

Dedicatoria

A toda mi familia que con su amor y sacrificio han estado pendiente de mí y de mis necesidades brindándome su apoyo incondicional por todos los obstáculos que la vida me ha presentado.

A mis amigos del colegio y la universidad que a pesar de la distancia siempre se han manifestado en mi vida haciéndome saber su compañía y acercamiento conmigo.

A mi compañero de proyecto, Miguel Prince y a mi director de proyecto de grado, Luis Arévalo, que en trabajo conjunto se realizó un proyecto destacado y por su compromiso para con el mismo.

Daniel Andrés Román Silva

Agradecimientos

Para la elaboración con éxito de cualquier proyecto se debe realizar un minucioso y arduo trabajo en equipo, en este caso particular, por la realización del proyecto “DIAGNÓSTICOS DE CUELLOS DE BOTELLA MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN DE TRES MUESTRAS REPRESENTATIVAS DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA”, propuesta presentada por nuestro director y ejecutada por los autores de este artículo, por ello queremos extender nuestros más sentidos agradecimientos a nuestro director, profesor e ingeniero Luis David Arévalo Durán por su disposición y amabilidad a la hora de resolver nuestras inquietudes y guiarnos en todo el proceso de investigación.

Contenido

Introducción	14
1. Objetivos	15
1.1. Objetivo General.....	15
1.2. Objetivos Específicos	15
2. Metodología	16
2.1. Recopilación De Información.....	16
2.2. Análisis Y Selección De Los Puntos	16
2.3. Tipos De Flujo De Tráfico.....	20
2.3.1. Flujo Continuo.....	20
2.3.2. Flujo Discontinuo.....	20
2.3.3. Figura Ilustrativa Del Tipo De Flujo De Tráfico En Los Puntos Estudiados.....	20
2.4. Señalización Vertical Y Horizontal.....	22
2.5. Actividades De La Zona	22
2.6. Clasificación Vial Urbana.....	23
3. Recopilación De Datos	25
3.1. Planeación Del Aforo	25
3.2. Vehículos Aforados	27

3.3. Logística Del Aforo	28
4. Niveles De Servicio	30
4.1. Nivel De Servicio A.....	30
4.2. Nivel De Servicio B.....	30
4.3. Nivel De Servicio C.....	31
4.4. Nivel De Servicio D.....	31
4.5. Nivel De Servicio E	31
4.6. Nivel De Servicio F	32
4.7. Clasificación De Los Niveles De Servicio	32
5. Clasificación De Los Niveles De Servicio.....	33
5.1. Conceptos Básicos Según Tipo De Flujo	33
5.2. Fijación NDS Del Tramo Vial.....	35
5.3. Cuello De Botella Por Reducción De Carril.....	37
5.4. Análisis Del Congestionamiento	38
5.4.1. Análisis De Congestionamiento Primer Punto, Flujo Vehicular Continuo.....	39
5.4.2. Análisis De Congestionamiento Segundo Punto, Flujo Vehicular Discontinuo	41
5.4.3. Análisis De Congestionamiento Tercer Punto, Flujo Vehicular Discontinuo.....	49
6. Causas De Cuellos De Botella	56
6.1. Geometría De La Vía.....	56
6.2. Ocupación De Vendedores Informales.....	57

6.3. Infracciones De Los Conductores.....	57
7. Consecuencias De Cuellos De Botella.....	59
7.1. Pérdidas Económicas	59
8. Conclusiones	60
9. Recomendaciones	63
Bibliografía	65

Lista de Tablas

Tabla 1. Puntos analizados de Cuellos de Botella	17
Tabla 2. Distribución en grupos de los tipos de vehículos aforados.....	28
Tabla 3. Horario de los aforos de los tres (3) puntos	29
Tabla 4. Clasificación de los niveles de servicio	32
Tabla 5. Clasificación de los niveles de servicio	34
Tabla 6. Términos utilizados para análisis del flujo vehicular discontinuo.....	34
Tabla 7. Tabla 15.2 HCM 2000. NDS Para Vías Urbanas	35
Tabla 8. Capacidad de un carril, usando el factor de equivalencia de 1.5	37
Tabla 9. Tráfico total – Aforo vehicular punto 1	39
Tabla 10. Tráfico total – Aforo vehicular punto 2	42
Tabla 11. Tráfico total – Aforo vehicular punto 3	49

Lista de Figuras

Figura 1. Punto 1: Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera 27	18
Figura 2. Punto 2: Calle 56 entre Carrera 17C y Diagonal 15 y Punto 3: Calle 56 entre Carrera 21 y Diagonal 15.....	19
Figura 3. Tipos de flujo de tráfico en los puntos de estudio.	21
Figura 4. Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera 27. Red arterial primera. Construcción en pavimento flexible	23
Figura 5. Calle 56 entre la Carrera 17C y Diagonal 15. Red arterial secundaria. Construcción en pavimento flexible	24
Figura 6. Calle 56 entre la Carrera 21 y Diagonal 15. Red arterial secundaria. Construcción en pavimento flexible	24
Figura 7. Interfaz de la aplicación Contador – Counter.....	25
Figura 8. Interfaz de edición del Contador	26
Figura 9. Interfaz de los Contadores editados.....	27
Figura 10. Reducción de carril debido a negligencia de los conductores.....	38
Figura 11. Fenómeno de espera cuellos de botella tramo 1	40
Figura 12. Fenómeno de espera cuellos de botella en una intersección con semáforos entre 4:00 p.m. y 5:00 p.m. - tramo 2.....	43

Figura 13. Fenómeno de espera cuellos de botella en una intersección con semáforos entre 5:00 p.m. y 6:00 p.m. - tramo 2.....	45
Figura 14. Fenómeno de espera cuellos de botella en una intersección con semáforos entre 6:00 p.m. y 7:00 p.m. - tramo 2.....	47
Figura 15. Fenómeno de espera cuellos de botella en una intersección con semáforos entre 4:00p.m. y 5:00 p.m. - tramo 3	50
Figura 16. Fenómeno de espera cuellos de botella en una intersección con semáforos entre 5:00 p.m. y 6:00 p.m. - tramo 3.....	52
Figura 17. Fenómeno de espera cuellos de botella en una intersección con semáforos entre 6:00 p.m. y 7:00 p.m. - tramo 3.....	54
Figura 18. Reducción de carriles de 4 a 2. Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera 27	56
Figura 19. Venta de artículos y alimentos por parte de vendedores informales sobre la vía.....	57
Figura 20. Vehículos infractores.....	58
Figura 21. Vehículos infractores.....	58
Figura 22. Vehículos detenidos que impiden el tráfico con semáforo en verde	64

Título: Diagnóstico de cuellos de botella mediante la caracterización de tres muestras representativas de volúmenes de tránsito del municipio de Bucaramanga. *

Autores: Miguel Saúl Prince Aguilar y Daniel Andrés Román Silva **

Palabras Clave: congestión, cuello de botella, aforo, tránsito.

Descripción:

En diversos puntos de la ciudad de Bucaramanga, se han venido presentando problemas de embotellamiento (cuellos de botella) en las vías, debido a diferentes factores como la reducción de carriles, ocupación de vendedores informales, obras de vías, mal comportamiento de los conductores, entre otros. Esta problemática fue estudiada mediante la toma de muestras por medio de aforos, la cual consistió en el conteo de vehículos que transitan por puntos de la ciudad escogidos visualmente mediante visita previa a los puntos de interés y siguiendo recomendaciones de la Dirección de Tránsito de Bucaramanga. Estos aforos fueron realizados en tres puntos de la ciudad donde se observó congestión vehicular; San Andresito La Isla Calle 56 entre la Carrera 17C y Diagonal 15, Calle 56 entre la Carrera 21 y Diagonal 15 y Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera 27, durante varios días de la semana, en lapsos de tres horas y en horarios distintos con el fin de obtener una muestra heterogénea. Estas muestras fueron de gran utilidad para el estudio de la congestión vehicular y los volúmenes de tránsito con el objetivo de medir la utilidad del servicio que prestan estas vías y plantear un diagnóstico de los diversos factores consecuencia de la congestión por cuellos de botella.

* Trabajo de grado

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

Title: Diagnosis of bottlenecks by characterizing three representative samples of traffic volumes from the municipality of Bucaramanga. *

Authors: Miguel Saúl Prince Aguilar and Daniel Andrés Román Silva **

Key Words: congestion, bottleneck, gauge, traffic.

Description:

At various areas in the city of Bucaramanga, there have been problems of traffic jams (bottlenecks) on the roads due to different factors such as the reduction of lanes, space occupied by informal vendors, road work, bad drivers's behavior, among others. This problem was studied by means of sampling using gauges, which consisted of counting vehicles that transit through points of the city chosen visually in a previous visit to the points of interest and following recommendations of the Bucaramanga Traffic Department. These gaugings were carried out in three areas of the city where vehicular congestion was observed; San Andresito La Isla (Street 56 between Carrera 17C and Diagonal 15), Street 56 between Carrera 21 and Diagonal 15 and Avenida Floridablanca-Bucaramanga south-northbound with a bifurcation at Carrera 27, during several days of the week, in three-hour periods and at different times in order to obtain a heterogeneous sample. These samples were very useful for the study of vehicular congestion and traffic volumes in order to measure the usefulness of the service provided by these roads and to propose a diagnosis of the various factors resulting from bottleneck congestion.

* Degree work

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

Introducción

En los últimos años en la ciudad de Bucaramanga se ha notado un aumento acelerado de la población, el urbanismo y también de los vehículos en la localidad. Debido a esto los problemas con respecto la congestión y embotellamiento en las vías son cada vez más notorios. Según las cifras tomadas de la Dirección de Tránsito de Bucaramanga, el área metropolitana cuenta con más de 707.000 vehículos en su parque automotor, inscribiendo aproximadamente 4.300 vehículos mensuales. [1]

En este proyecto se estudió el fenómeno de los “cuellos de botella” y se seleccionaron ciertos puntos de la ciudad para hacer sus respectivos análisis. Diversos factores son los que generan la congestión por este fenómeno, como la reducción de carril por sección transversal de la vía, ocupación de las vías por vendedores ambulantes, obras en la carretera, falta de control de infractores por parte de los agentes de tránsito, entre otros. Los horarios en que fueron tomados los datos también son influyentes en estos valores debido a que la mayor congestión ocurre en la entrada y salida de la mayoría de los trabajadores en sus respectivos empleos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se buscó plantear posibles soluciones para esta problemática de tal forma que concientice a los conductores de los vehículos a transitar de una forma más armoniosa eficiente y segura en medio de las vías en pro de una mejora en la seguridad para todos los transeúntes y usuarios de la vía de las zonas estudiadas.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Realizar un diagnóstico de los “cuellos de botella” de la ciudad de Bucaramanga, mediante la toma de tres muestras representativas de volúmenes de tránsito.

1.2. Objetivos Específicos

- Consultar fuentes bibliográficas relacionadas con la congestión causada por los cuellos de botella.
- Identificar cuellos de botella por reducción de carril de acuerdo con información de la dirección de Tránsito de Bucaramanga.
- Realizar una toma de datos significativa del flujo de vehículos horario y el tiempo de duración de la congestión en los cuellos de botella dentro de la zona urbana de la ciudad de Bucaramanga
- Plantear las conclusiones de la investigación y resolver los diversos factores consecuencia de la congestión en los cuellos de botella detectados.

2. Metodología

2.1. Recopilación De Información

Para la realización de este proyecto nos basamos en el libro guía Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones [2], para consultar el procedimiento del análisis de cuellos de botella que se realiza de forma determinística y macroscópica.

“El análisis determinístico se desarrolla con cálculos precisos del valor de una variable en función de valores específicos que toman otras variables”. Cuando existe un nivel de congestionamiento muy grande las observaciones macroscópicas son las que mejor se ajustan al fenómeno en estudio caracterizando la operación vehicular en términos de sus variables de flujo en cálculos promedios.

Tuvimos en cuenta que en estos procedimientos los patrones de llegada y de servicio de los vehículos son continuos y discontinuos y para cada tipo se hizo un análisis correspondiente.

2.2. Análisis Y Selección De Los Puntos

Conociendo previamente el concepto general de los cuellos de botella se procedió a hacer una consulta de información en la dirección de tránsito de Bucaramanga de datos recolectados anteriormente por esta misma entidad, que nos sirvieron de apoyo para la selección de los puntos a estudiar.

Tabla 1*Puntos analizados de Cuellos de Botella*

Punto	Dirección
1	Calle 36 con Carrera 32 (sentido W-E)
2	Calle 34 con Carrera 15
3	Carrera 16 con Calle 34
4	Carrera 21 con Calle 35
5	Calle 33 con Carrera 23
6	Calle 56 con Carrera 17C
7	Calle 56 con Carrera 21
8	Carrera 35 con Calle 48
9	Calle 36 con Carrera 15
10	Calle 35 con Carrera 10
11	Calle 63 con Carrera 32
12	Avenida Florida-Bucaramanga con Carrera 27

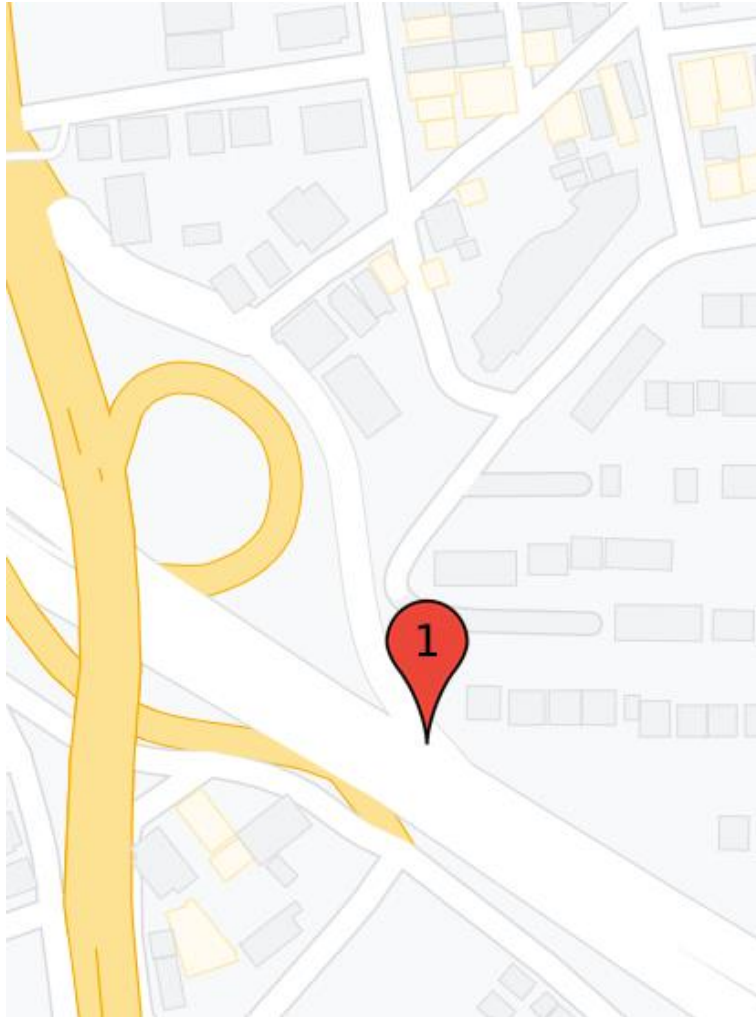
Nota: Adaptado de Dirección de Tránsito de Bucaramanga.

De forma presencial se visitaron varios de estos lugares y se seleccionaron (3) puntos donde la congestión por “cuellos de botella” fue crítica.

Figura 1

Punto 1: Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera

27

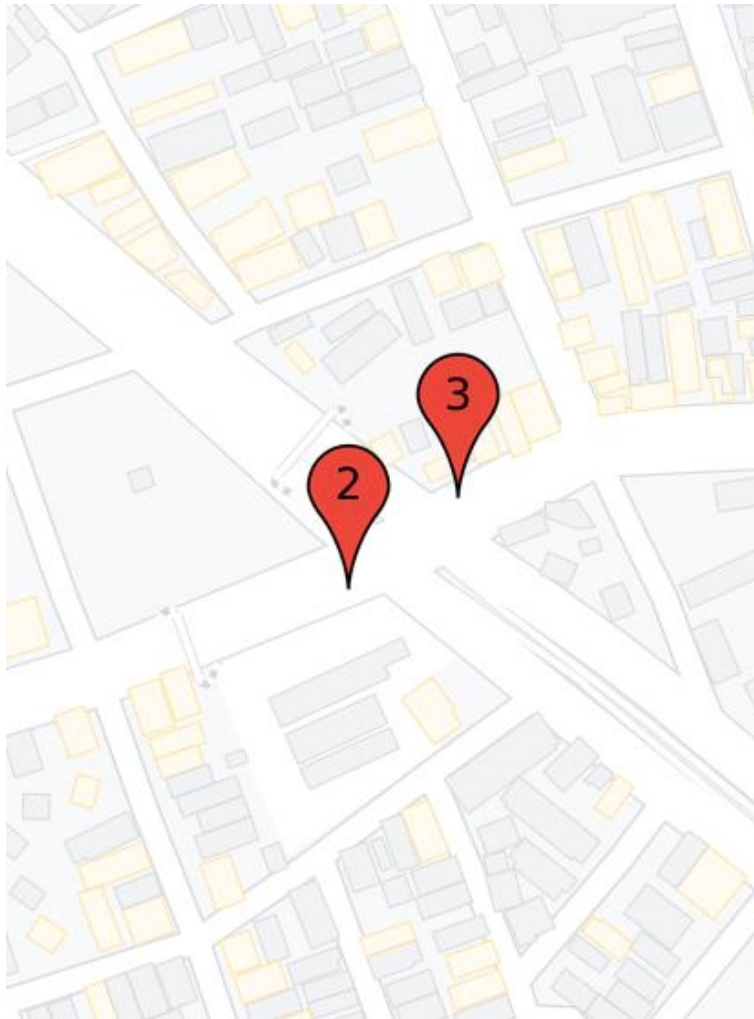


Nota: Adaptado de Google Maps.

Figura 2

Punto 2: Calle 56 entre Carrera 17C y Diagonal 15 y Punto 3: Calle 56 entre Carrera 21 y

Diagonal 15



Nota: Adaptado de Google Maps.

2.3. Tipos De Flujo De Tráfico

El flujo vehicular se puede dividir en dos categorías, flujo continuo o discontinuo. Estas describen el tipo de trayecto, pero no depende de la calidad del flujo de tránsito. [3]

2.3.1. Flujo Continuo

Este flujo es aquel que sus vehículos que transitan por la vía solo se detienen por razones independientes al tráfico de la zona, como por ejemplo un accidente, parada intermedia o alcanzar un destino en particular. Estos trayectos no presentan elementos que puedan interrumpir el tráfico, tales como semáforos o señales de pare. [3]

2.3.2. Flujo Discontinuo

Se presenta mayormente en las calles internas de la ciudad, donde hay tramos cortos de vías y cuyo control del flujo de tránsito se basa con la implementación de elementos como semáforos, señales de tránsito y cualquier dispositivo de control de tránsito. [3]

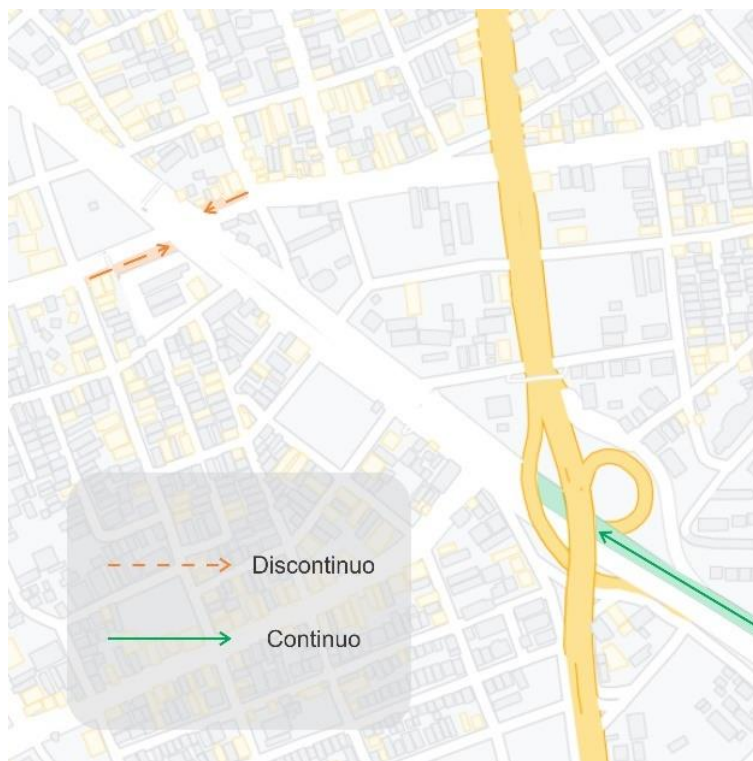
2.3.3. Figura Ilustrativa Del Tipo De Flujo De Tráfico En Los Puntos Estudiados

Basados en la información anterior se caracterizaron los puntos estudiados para determinar el tipo de flujo de tráfico en los tres (3) puntos. En los trayectos de la Calle 56 con Carrera 17C y Diagonal 15 (punto 2) y de la Calle 56 con Carrera 21 y Diagonal 15 (punto 3),

encontramos una zona semaforizada, por lo tanto, son trayectos con flujo discontinuo, mientras que en la Avenida Bucaramanga-Floridablanca con bifurcación con la Carrera 27 (punto 1) se observó una ausencia de semáforos en la zona y se pudo catalogar como un trayecto de flujo continuo.

Figura 3

Tipos de flujo de tráfico en los puntos de estudio



Nota: Adaptado de Google Maps y Edición propia.

2.4. Señalización Vertical Y Horizontal

Se contabilizaron las señales de tránsito verticales y horizontales para los tres (3) puntos. Las vías del primer punto (Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera 27) cuentan únicamente con señales verticales de prevención distribuidas sobre la mal denominada autopista y líneas blancas de separación de carril. Las vías del segundo y tercer punto, localizados en un mismo sector, cuentan en conjunto con ocho (8) señales verticales; siete (7) de reglamentación y una (1) de información y cuentan con cuatro (6) señales horizontales, cuatro (4) flechas de dirección y dos (2) líneas blancas de separación de carril.

2.5. Actividades De La Zona

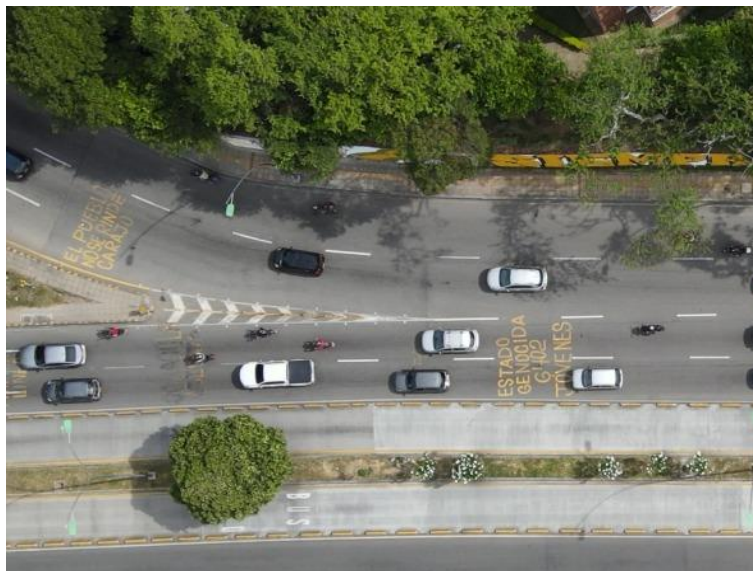
En la zona donde se encuentra el primer punto, hacia el norte, es principalmente residencial, pudimos localizar casas, conjuntos cerrados, edificios residenciales, entre otros; hacia el sur es una zona comercial donde pudimos acceder a empresas de ventas de carros, supermercados, restaurantes, entre otros. En la zona del segundo y tercer punto es altamente comercial donde pudimos encontrar negocios de ropa, alimentos, aparatos eléctricos y electrónicos, parqueaderos, hoteles, estaciones de servicio, entre otros.

2.6. Clasificación Vial Urbana

En esta sección determinamos el tipo de vía de las zonas estudiadas, así como el tipo de pavimento que está presente en cada uno de los puntos aforados. Según el POT de Bucaramanga, 2014-2027 [4] y el Plan Maestro de movilidad de Bucaramanga, 2010-2030. [5]

Figura 4

Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera 27. Red arterial primera. Construcción en pavimento flexible



Nota: Adaptado de Fotografía propia.

Figura 5

Calle 56 entre la Carrera 17C y Diagonal 15. Red arterial secundaria. Construcción en pavimento flexible



Nota: Adaptado de Fotografía propia.

Figura 6

Calle 56 entre la Carrera 21 y Diagonal 15. Red arterial secundaria. Construcción en pavimento flexible



Nota: Adaptado de Fotografía propia.

3. Recopilación De Datos

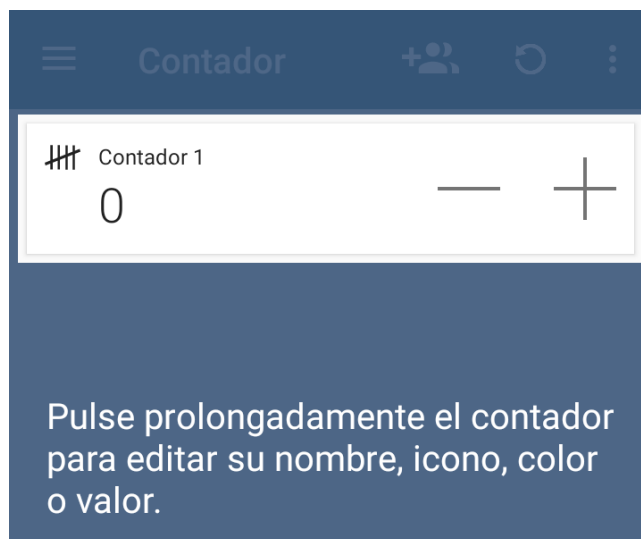
3.1. Planeación Del Aforo

Para la realización del aforo se buscaron varias formas para contar los vehículos y se seleccionó la más adecuada. Se implementó la utilización de un aplicativo móvil, Contador - Counter, que nos facilitó el orden de la toma de datos puesto que esta forma fue mucho más práctica que la toma de datos de forma manual.

Inicialmente se procedió a descargar la aplicación desde la tienda virtual Play Store y se ejecuta.

Figura 7

Interfaz de la aplicación Contador – Counter



Nota: Adaptado de Fotografía propia.

Posteriormente se agregaron los nombres, colores de los contadores y de los fondos e íconos representativos de los grupos de vehículos que se aforaron.

Figura 8

Interfaz de edición del Contador

× **Editar Contador** 

–

0

+

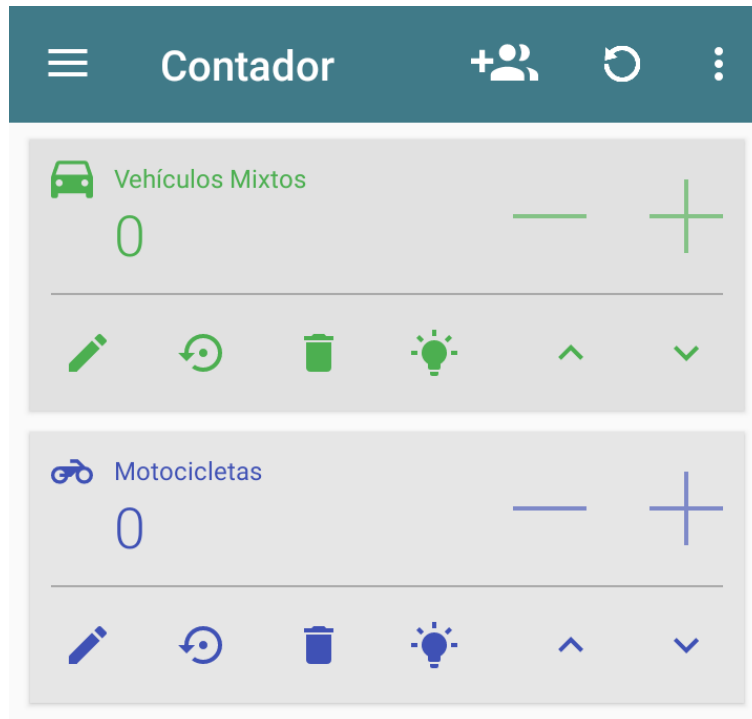
Vehículos Mixtos

	Icono
	Color del contador
	Color de fondo

Nota: Adaptado de Fotografía propia.

Figura 9

Interfaz de los Contadores editados



Nota: Adaptado de Fotografía propia.

Una vez editados los parámetros necesarios en cada uno de los contadores, se procedió a realizar el aforo de forma manual.

3.2. Vehículos Aforados

Se contemplaron distintos tipos de vehículos tales como motocicletas, taxis, carros particulares y busetas y se distribuyeron en 2 grupos; motocicletas y vehículos mixtos.

Para el conteo de las motocicletas se tuvo en cuenta un factor de conversión de 1.92, según el estudio realizado por Eliberto Carreño y Yurley Gaviria, en su proyecto de grado, Determinación de un factor de conversión de motocicletas a vehículos livianos en el área metropolitana de Bucaramanga. [6]

Tabla 2

Distribución en grupos de los tipos de vehículos aforados

Grupo	Tipo de vehículo
1	Motocicleta
2	Vehículos mixtos

Nota: Adaptado de Elaboración Propia.

3.3. Logística Del Aforo

Se determinaron distintos horarios para la realización de los aforos que contemplaremos en la siguiente tabla distribuidos de la siguiente manera.

Tabla 3*Horario de los aforos de los tres (3) puntos*

Punto	Horario	Días	Aforador
1. Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera 27	6:00 a.m. – 9:00 a.m.	Viernes	Miguel Prince y Daniel Román
2. Calle 56 entre la Carrera 17C y Diagonal 15	4:00 p.m. – 7:00 p.m.	Miercoles	Miguel Prince y Daniel Román
3. Calle 56 entre la Carrera 21 y Diagonal 15	4:00 p.m. – 7:00 p.m.	Jueves	Miguel Prince y Daniel Román

Nota: Adaptado de Elaboración propia

4. Niveles De Servicio

Los niveles de servicio consisten en una clasificación de la vía con respecto a la capacidad de vehículos que pueden transitar por ella, clasificándose desde el nivel A hasta el F. Las características de cada una de estas categorías serán explicadas a continuación.

Para el desarrollo de este ejercicio nos referenciamos del documento Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles, Tercera versión, 2020. [7]

4.1. Nivel De Servicio A

Se presenta un flujo libre para los vehículos teniendo en cuenta que las características geométricas de la vía son adecuadas. La facilidad para realizar maniobras es muy alta y la topografía de la zona no presenta restricciones. El nivel general de libertad y comodidad que presta la vía a los conductores es excelente.

4.2. Nivel De Servicio B

Se empiezan a presentar restricciones en el flujo libre y las características geometría de la vía afectan levemente. La capacidad para maniobrar se ve afectada debido a que ocurren interferencias con otros vehículos. El nivel general de libertad y comodidad que presta la vía a los conductores es bueno.

4.3. Nivel De Servicio C

Las condiciones que presenta este tipo de vías son medias, se empiezan a notar restricciones tolerables con respecto al flujo vehicular y las geometría y pendiente de la vía. La libertad para conducir se ve afectada ya que se encuentran continuamente con más vehículos. El nivel general de libertad y comodidad que presta la vía a los conductores es adecuado.

4.4. Nivel De Servicio D

Existe un flujo constante de vehículos presentando también restricciones en la geometría y pendiente de la vía. En este tipo de vías no hay libertad para conducir con la velocidad deseada debido a la continua interferencia con los demás vehículos. El nivel general de libertad y comodidad que presta la vía a los conductores es deficiente.

4.5. Nivel De Servicio E

El flujo es constante, pero se ve afectado por la capacidad de la vía, por lo que resulta a los conductores adelantar a otros vehículos. En este nivel la circulación es muy inestable ya que cualquier perturbación puede generar congestiones. El nivel general de libertad y comodidad que presta la vía a los conductores es bajo.

4.6. Nivel De Servicio F

Este nivel presenta una circulación bastante congestionada debido a que la capacidad de la vía es menor a la demanda de volumen de vehículos y esto rompe la continuidad del flujo. Se presentan largas colas de vehículos que se identifican por constantes paradas y avances cortos. El nivel general de libertad y comodidad que presta la vía a los conductores es malo.

4.7. Clasificación De Los Niveles De Servicio

Teniendo en cuenta la información anterior se elaboró una tabla para resumir y clasificar los niveles de servicio una forma clara y fácil de comprender.

Tabla 4

Clasificación de los niveles de servicio

NDS	Clasificación
A	Excelente
B	Bueno
C	Adecuado
D	Deficiente
E	Bajo
F	Malo

Nota: Adaptado de Elaboración propia.

5. Estudio De Cuellos De Botella Y Análisis De Congestionamiento

Con la realización de un estudio de tránsito se busca tener un análisis detallado de la movilidad en la zona de la ciudad que se realice, la congestión es uno de los factores más importantes que se analiza debido a que de esta se desprenden impactos negativos, no solo para los conductores de los vehículos que transitan en el tramo vial, sino también para las áreas cercanas a dicha congestión.

Los aforos son utilizados para realizar el conteo de vehículos que pasan en determinada hora por el tramo vial que se está analizando, estos pueden ser realizados por una persona mediante el conteo manual apoyados de formatos impresos o automáticamente mediante tecnología con sensores, dependiendo del campo de aplicación, el tipo de tránsito y la precisión requerida. [8].

5.1. Conceptos Básicos Según Tipo De Flujo

Los cálculos necesarios para el análisis del proyecto se realizaron teniendo en cuenta diferentes términos [2], estos varían un poco según el tipo de flujo vial, en este caso se presentaron dos tipos diferentes, continuo, en la Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera 27 y discontinuo en los dos restantes, San Andresito La Isla Calle 56 entre la Carrera 17C y Diagonal 15, Calle 56 entre la Carrera 21 y Diagonal 15.

Tabla 5

Términos utilizados para análisis del flujo vehicular continuo

N1	Número de vehículos antes de la congestión
	Hora a la que empieza la congestión
Tq	Duración del congestionamiento
Qm	Longitud máxima de cola
dm	Duración máxima de un vehículo
D	Demora total de todo el tránsito
Nq	Vehículos afectados por el cuello de botella
d	Demora promedio del tránsito
Q	Longitud promedio de la cola

Nota: Adaptado de Elaboración propia con base en la metodología de Cal y Mayor.

Nota: Esta tabla muestra las siglas de los términos usados junto con su respectivo significado.

Tabla 6

Términos utilizados para análisis del flujo vehicular discontinuo

s	Flujo de saturación
λ	Tasa media de llegadas
C	Longitud del ciclo de semáforo
g	Verde efectivo
r	Rojo efectivo
ρ	Intensidad del tránsito
t _o	Tiempo de disipación de cola después del verde efectivo
Pq	Proporción del ciclo con cola
Ps	Proporción de vehículos detenidos
Qm	Longitud máxima de cola
Qq	Longitud promedio de la cola mientras exista
Q	Longitud promedio de la cola por ciclo
dm	Demora máxima que experimenta un vehículo
D	Demora total para todo el tránsito por ciclo
d	Demora promedio del tránsito por ciclo

Nota: Adaptado de Elaboración propia con base en la metodología de Cal y Mayor.

Nota: Esta tabla muestra las siglas de los términos usados junto con su respectivo significado.

5.2. Fijación NDS Del Tramo Vial

Como vimos, los niveles de servicio se clasifican entre A y F, siendo A una ocupación mínima de la vía y F una ocupación total, sin permitir el flujo vehicular.

Para fijar una clasificación coherente del Nivel de Servicio se realizó una inspección visual durante el horario de toma de datos, además de una revisión del HCM 2000, tabla 15.2 donde se exponen los parámetros para la clasificación de vías urbanas, en función de la velocidad.

Tabla 7

Tabla 15.2 HCM 2000. NDS Para Vías Urbanas

TABLA 15.2 HCM 2000. NDS PARA VIAS URBANAS				
Clasificación	I	II	III	IV
Rango Velocidades	90-70	70-55	55-50	55-40
Flujo Libre	80	65	55	45
NDS	PROMEDIO 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

Nota: Adaptado de HCM 2000

Los promedios de velocidad vehicular para cada tipo de flujo varían en diferentes rangos, clasificándolos así en cuatro categorías, como es de esperarse, para el nivel de servicio A existe

una mayor velocidad promedio, debido a su vía libre, mientras que para los niveles inferiores su velocidad promedio se ve reducida, por reducción el flujo libre.

Se evaluó un rango de velocidades, teniendo en cuenta la reducción media de los vehículos que transitan, la calidad del servicio que ofrece el tramo e incluso el grado de satisfacción que se experimenta en la vía. Teniendo en cuenta la información anterior tomamos la segunda columna de la clasificación, cuyo rango de velocidades está entre 70 – 55 km/h; llegando a tener que para el primer punto de interés (Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera 27), cuyo flujo vehicular es continuo, se contó con un nivel de servicio C, ya que se presentaron interferencias con otros vehículos que redujeron la libertad para conducir, pero en general la comodidad que tuvieron los conductores es aceptable. En el segundo y tercer tramo (San Andresito La Isla Calle 56 entre la Carrera 17C y Diagonal 15, Calle 56 entre la Carrera 21 y Diagonal 15) donde el flujo vehicular es discontinuo debido a la presencia de semáforos que detienen el tráfico se presentó un nivel de servicio D, ya que no existió la libertad para conducir con la velocidad deseada, ocurrieron interferencias con otros vehículos y existieron condiciones externas a la vía que entorpecieron el tráfico, el nivel de comodidad de los conductores fue deficiente.

Para cada nivel de servicio se contó con una capacidad vehicular por carril por hora representadas en la siguiente tabla, de esta tenemos que para cada carril del primer punto de interés la capacidad vehicular es de 1550 por hora, mientras que para los puntos dos y tres es de 1850 vehículos por hora.

Tabla 8

Capacidad de un carril, usando el factor de equivalencia de 1.5

CAPACIDAD POR NS	
NS	AUTOS/CARRIL/HORA
A	700
B	1100
C	1550
D	1850
E	2000
F	>2000

Nota: Adaptado de Características técnicas de los modos de transporte UPTC.

Nota: Esta tabla muestra los valores de capacidad vehicular en un carril por hora según el nivel de servicio.

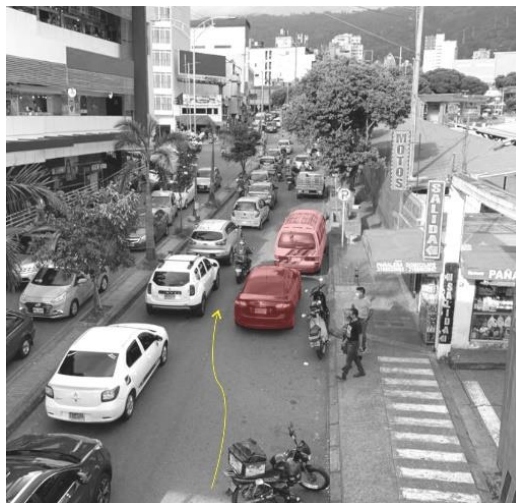
5.3. Cuello De Botella Por Reducción De Carril

Los cuellos de botella se presentan cuando en una vía los vehículos encuentran una reducción de carril, ya sea por la simetría propia de la vía o en otros casos por entorpecimiento de esta, ya sea por peatones, vehículos mal estacionados, presencia de vendedores ambulantes, construcciones de obras, accidentes e indisciplina vial.

En los puntos escogidos se evidenciaron reducciones de carriles por causa de todo tipo de factores, con los datos obtenidos se pudo determinar las horas más críticas de la congestión y verse detalladamente los diferentes factores que intervinieron en ella.

Figura 10

Reducción de carril debido a negligencia de los conductores



Nota: Adaptado de Fotografía propia.

5.4. Análisis Del Congestionamiento

Escogidos los puntos de interés para realizar el diagnóstico, se procedió a elegir 3 horas para cada punto en las que se pudiera evidenciar claramente la problemática.

Mediante aforo manual se tomaron los datos referentes a vehículos mixtos y motocicletas que transitan por cada corredor, teniendo en cuenta el factor de conversión, 1.92 motocicletas equivalen a un auto, para el tramo de flujo vehicular continuo, el aforo fue realizado entre 6:00 a.m. y 9:00 a.m. Se escogió este horario ya que contamos con información de antes, durante y después de la hora pico en la mañana, cuando los trabajadores utilizan la denominada autopista Florida-Bucaramanga sentido sur norte para dirigirse a sus lugares de trabajo, en los otros dos puntos donde se evidencia flujo vehicular discontinuo, el aforo fue realizado entre 4:00 p.m. y

7:00 p.m. donde al igual que antes, se vive la hora pico de la tarde, pero esta vez los trabajadores de Bucaramanga retornan hacia sus casas.

5.4.1. Análisis De Congestionamiento Primer Punto, Flujo Vehicular Continuo

El aforo para el primer punto de interés fue realizado entre 6:00 a.m. y 9:00 a.m. Está ubicado en la Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera 27.

Tabla 9

Tráfico total – Aforo vehicular punto 1

Hora	Veh/h	Motos/h	Moto a vehículos	Veh Total/h
6 – 7	1600	2123	1106	2706
7 – 8	1826	2872	1496	3322
8 – 9	1806	1953	1017	2823

Nota: Adaptado de Elaboración propia.

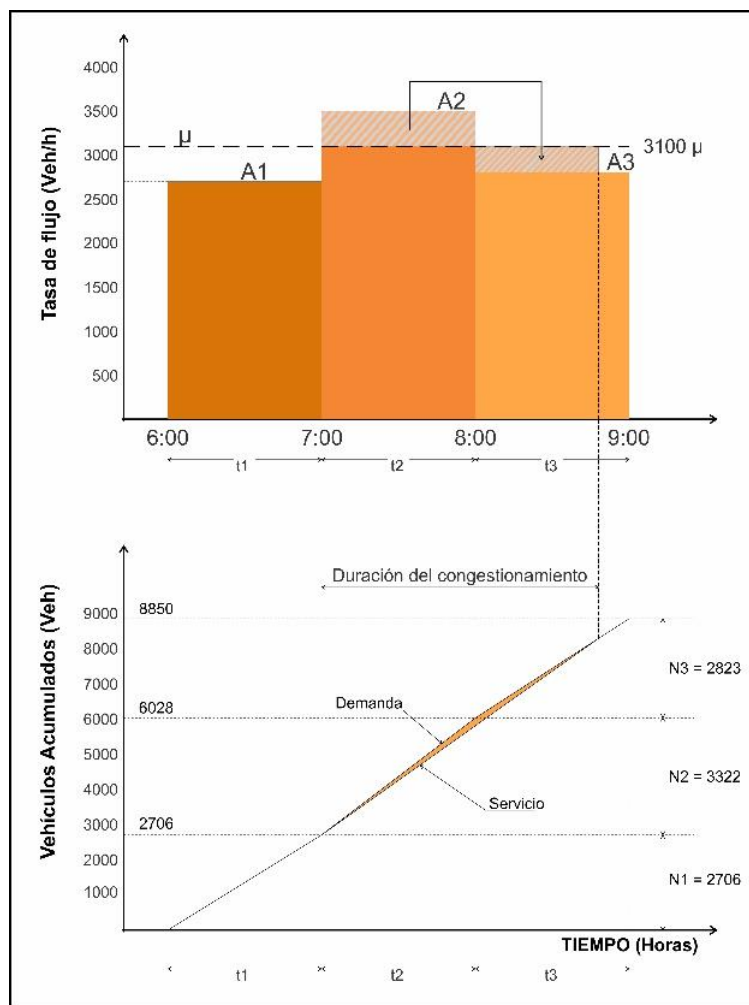
Nota: Esta tabla muestra los valores del aforo vehicular realizado en el sitio, la conversión de moto a vehículos y el valor total en vehículos mixtos para cada hora.

En la siguiente figura se representaron la tasa de flujo y los vehículos acumulados respecto al tiempo, observamos como al empezar el congestionamiento a las 7:00 a.m. la capacidad de los dos carriles por hora μ es sobrepasada; entre 7:00 y 8:00 a.m. se presentó el

mayor estancamiento, que disminuye a las 8:48 a.m. cuando termina la demora total del tránsito (Área encerrada en el segundo plano).

Figura 11

Fenómeno de espera cuellos de botella tramo 1



Nota: Adaptado de Elaboración propia.

Como resultado del análisis obtuvimos:

- El número total de vehículos que llegan entre 6:00 a.m. y 7:00 a.m. es de 2706.

- El congestionamiento empieza a las 7:00 a.m.
- La duración del congestionamiento (T_q) es de 108 minutos, por lo tanto, la cola se disipa a las 8:48 a.m.
- La longitud máxima de cola (Q_m) es de 222 vehículos.
- La demora máxima de un vehículo (d_m) es de 4.3 minutos.
- La demora total de todo el tránsito (D) es de 200 h-Veh.
- Los vehículos afectados por el cuello de botella (N_q) son 5580 vehículos.
- La demora promedio del tránsito (d) es de 2.15 minutos.
- La longitud promedio de la cola (Q) es de 111 vehículos.

Según los resultados vemos que se produjo una demora considerable en el tránsito debido a las colas y a los tiempos de espera. Podemos concluir, que el nivel de servicio C con el cual se comportó el tramo, cambia su NDS por efecto de las colas, ya que, en el punto exacto del cuello de botella, que es un punto dinámico, puede ser un NDS tipo D o tal vez peor a la hora del congestionamiento, debido a que la geometría de la vía por reducción de carriles restringe la velocidad de circulación y se pierde la libertad del conductor de ir a la velocidad a la cual circulaba por las interferencias frecuentes con otros vehículos.

5.4.2. Análisis De Congestionamiento Segundo Punto, Flujo Vehicular Discontinuo

El aforo del segundo punto de interés fue realizado entre 4:00 p.m. y 7:00 p.m. Está ubicado en San Andresito La Isla Calle 56 entre la Carrera 17C y Diagonal 15.

Tabla 10*Tráfico total – Aforo vehicular punto 2*

Hora	Veh/h	Motos/h	Moto a Veh vehículos	Veh Total/h
4 – 5	443	341	178	621
5 – 6	473	451	235	708
6 - 7	490	501	261	751

Nota: Adaptado de Elaboración propia.

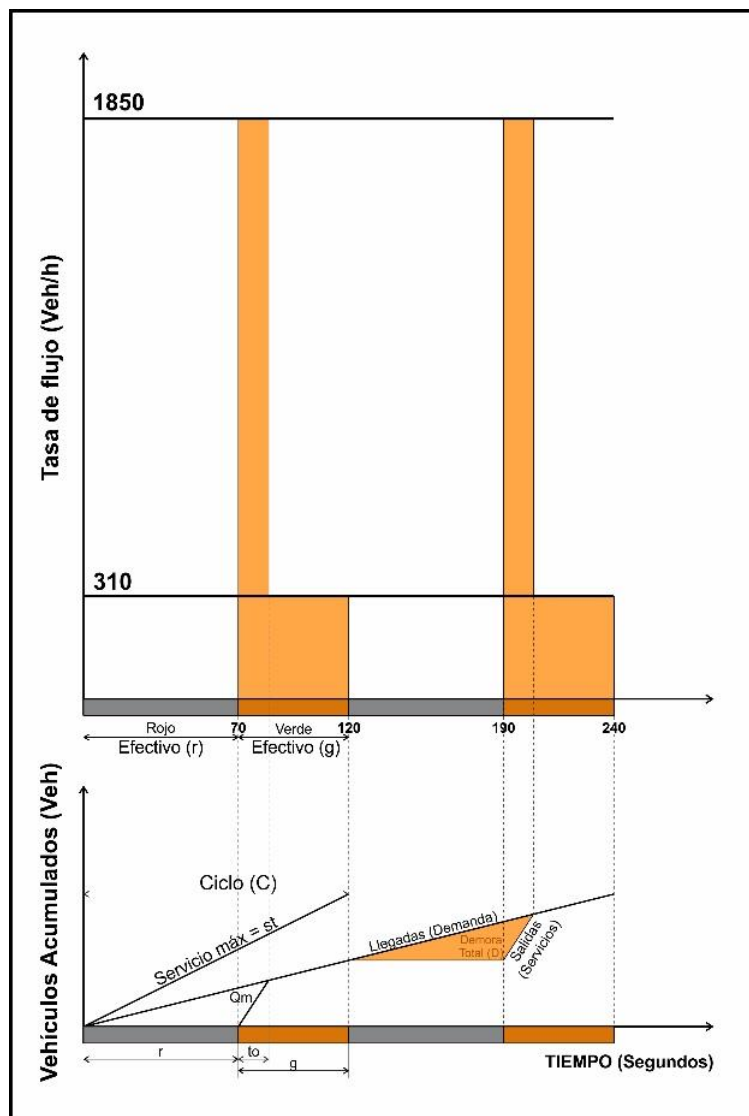
Nota: Esta tabla muestra los valores del aforo vehicular realizado en el sitio, la conversión de moto a vehículos y el valor total en vehículos mixtos para cada hora.

Al tratarse de un flujo vehicular discontinuo (causado por la espera del semáforo) fue necesario hacer un análisis para cada hora por separado, buscando entre ellos cual es la hora más crítica en que los vehículos presentaran los mayores tiempos de espera, estos semáforos tienen una longitud de ciclo de 120 segundos, de los cuales 70 le corresponden al rojo efectivo y 50 al verde efectivo.

En las gráficas se representan la tasa de flujo y los vehículos acumulados respecto al tiempo, observamos la ocupación de carril según su capacidad máxima, el tiempo en que se disipa la cola después del verde efectivo y la demora total del tránsito por hora.

Figura 12

Fenómeno de espera cuellos de botella en una intersección con semáforos entre 4:00 p.m. y 5:00 p.m. - tramo 2



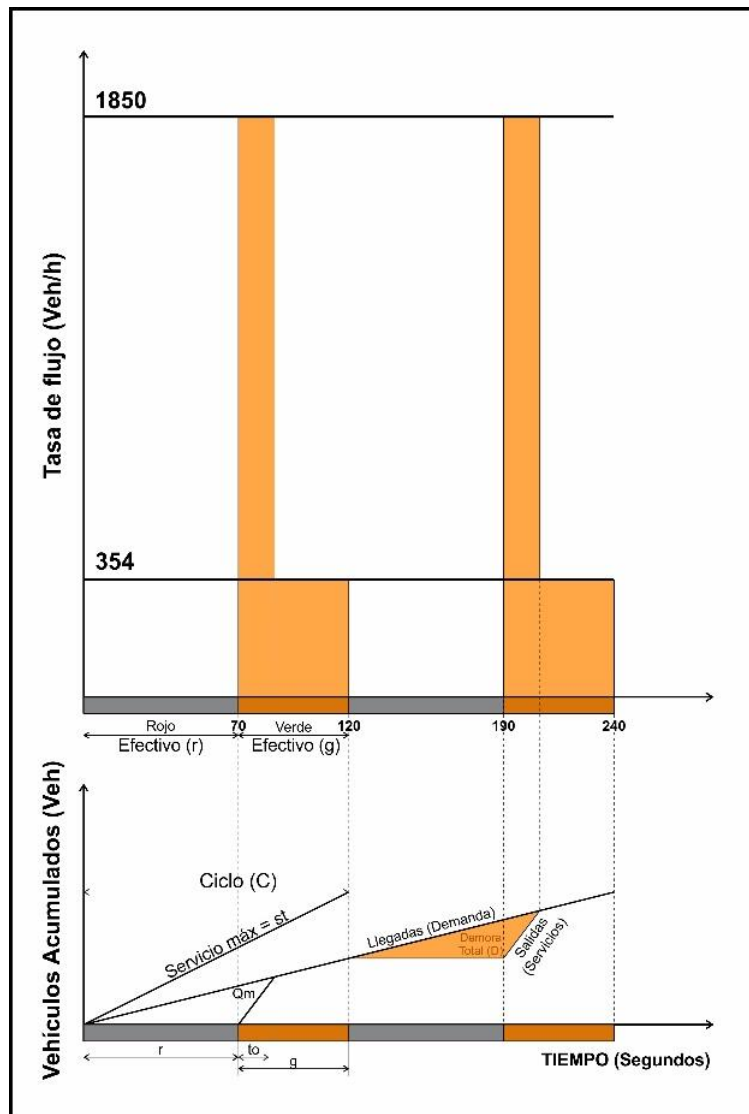
Nota: Adaptado de Elaboración propia.

Como resultado del análisis obtuvimos:

- Flujo de saturación (s) es 0.514 Veh/seg
- Tasa media de llegadas (λ) es 0.086 Veh/seg.
- Longitud del ciclo (C) es de 120 segundos
- El verde efectivo (g) es de 50 seg.
- El tiempo para que se disipe la cola después de empezar el verde efectivo (t_o) es de 14.1 segundos.
- La proporción del ciclo de cola (P_q) es de 0.7
- La longitud máxima de cola (Q_m) es de 6 vehículos.
- La longitud promedio de la cola mientras exista (Q_q) es de 3 vehículos.
- La longitud promedio de la cola por ciclo (Q) es 2.1 vehículos.
- La demora máxima que experimenta un vehículo (d_m) es de 70 segundos.
- La demora total para todo el tránsito por ciclo (D) es de 253.7 Seg – Veh
- La demora promedio del tránsito por ciclo (d) es de 24.5 Seg/Veh

Figura 13

Fenómeno de espera cuellos de botella en una intersección con semáforos entre 5:00 p.m. y 6:00 p.m. - tramo 2



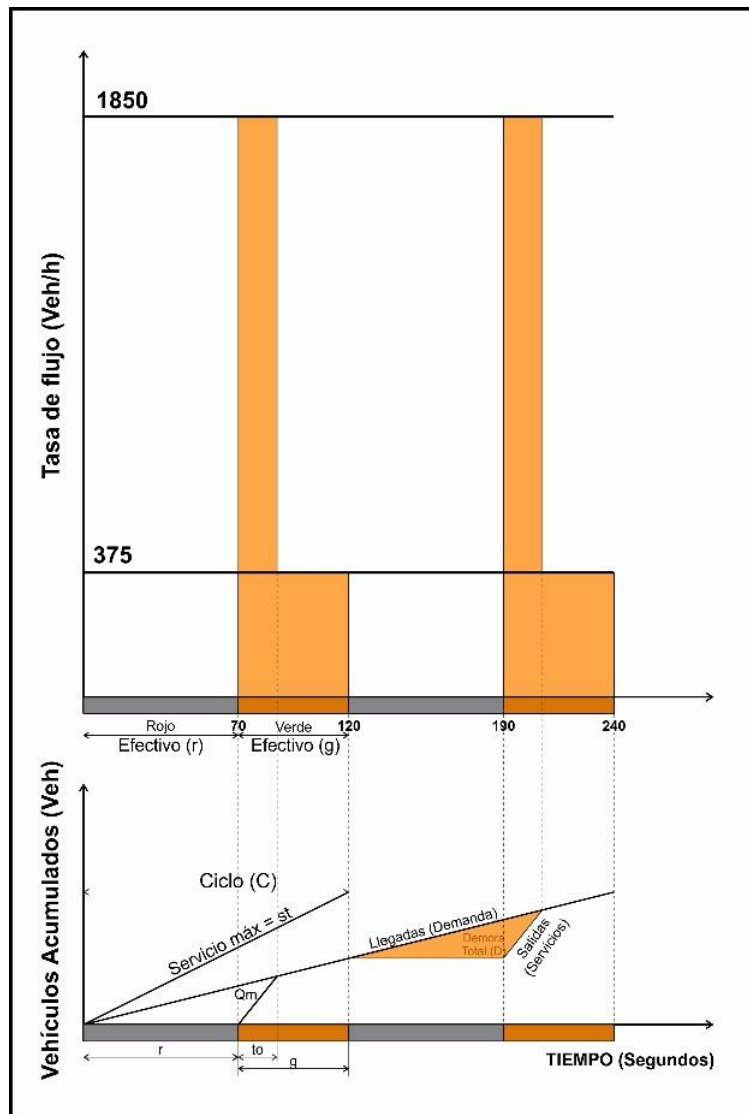
Nota: Adaptado de Elaboración propia.

Como resultado del análisis obtuvimos:

- Flujo de saturación (s) es 0.514 Veh/seg
- Tasa media de llegadas (λ) es 0.098 Veh/seg.
- Longitud del ciclo (C) es de 120 segundos
- El verde efectivo (g) es de 50 seg.
- El tiempo para que se disipe la cola después de empezar el verde efectivo (t_o) es de 16.6 segundos.
- La proporción del ciclo de cola (P_q) es de 0.72
- La longitud máxima de cola (Q_m) es de 7 vehículos.
- La longitud promedio de la cola mientras exista (Q_q) es de 3 vehículos.
- La longitud promedio de la cola por ciclo (Q) es 2.5 vehículos.
- La demora máxima que experimenta un vehículo (d_m) es de 70 segundos.
- La demora total para todo el tránsito por ciclo (D) es de 297.9 Seg – Veh
- La demora promedio del tránsito por ciclo (d) es de 25.2 Seg/Veh

Figura 14

Fenómeno de espera cuellos de botella en una intersección con semáforos entre 6:00 p.m. y 7:00 p.m. - tramo 2



Nota: Adaptado de Elaboración propia.

En la tercera hora 6:00 p.m. a 7:00 p.m. se presentó la mayor demora promedio del tránsito por ciclo.

Como resultado del análisis obtuvimos:

- Flujo de saturación (s) es 0.514 Veh/seg
- Tasa media de llegadas (λ) es 0.104 Veh/seg.
- Longitud del ciclo (C) es de 120 segundos
- El verde efectivo (g) es de 50 seg.
- El tiempo para que se disipe la cola después de empezar el verde efectivo (t_o) es de 17.8 segundos.
- La proporción del ciclo de cola (P_q) es de 0.73
- La longitud máxima de cola (Q_m) es de 7 vehículos.
- La longitud promedio de la cola mientras exista (Q_q) es de 4 vehículos.
- La longitud promedio de la cola por ciclo (Q) es 2.7 vehículos.
- La demora máxima que experimenta un vehículo (d_m) es de 70 segundos.
- La demora total para todo el tránsito por ciclo (D) es de 320.6 Seg – Veh
- La demora promedio del tránsito por ciclo (d) es de 25.6 Seg/Veh

Según los resultados pudimos concluir que la tercera hora, entre 6:00 p.m. y 7:00 p.m. es en la que se generó mayor atasco en nuestro punto de estudio dos (2) (San Andresito La Isla Calle 56 entre la Carrera 17C y Diagonal 15), donde también se evidenció un cambio de nivel de servicio del tramo debido a su condición dinámica, siendo este clasificado ahora como E, ya que a esa hora se hace imposible adelantar, porque los niveles de libertad y comodidad son muy bajos, además se reduce significativamente la velocidad.

5.4.3. Análisis De Congestionamiento Tercer Punto, Flujo Vehicular Discontinuo

El aforo del tercer punto de interés fue realizado entre 4:00 p.m. y 7:00 p.m. Está ubicado en la Calle 56 entre la Carrera 21 y Diagonal 15.

Tabla 11

Tráfico total – Aforo vehicular punto 3

Hora	Veh/h	Motos/h	Moto a Veh vehículos	Veh Total/h
4 – 5	650	740	385	1035
5 – 6	630	975	508	1138
6 - 7	605	944	492	1097

Nota: Adaptado de Elaboración propia.

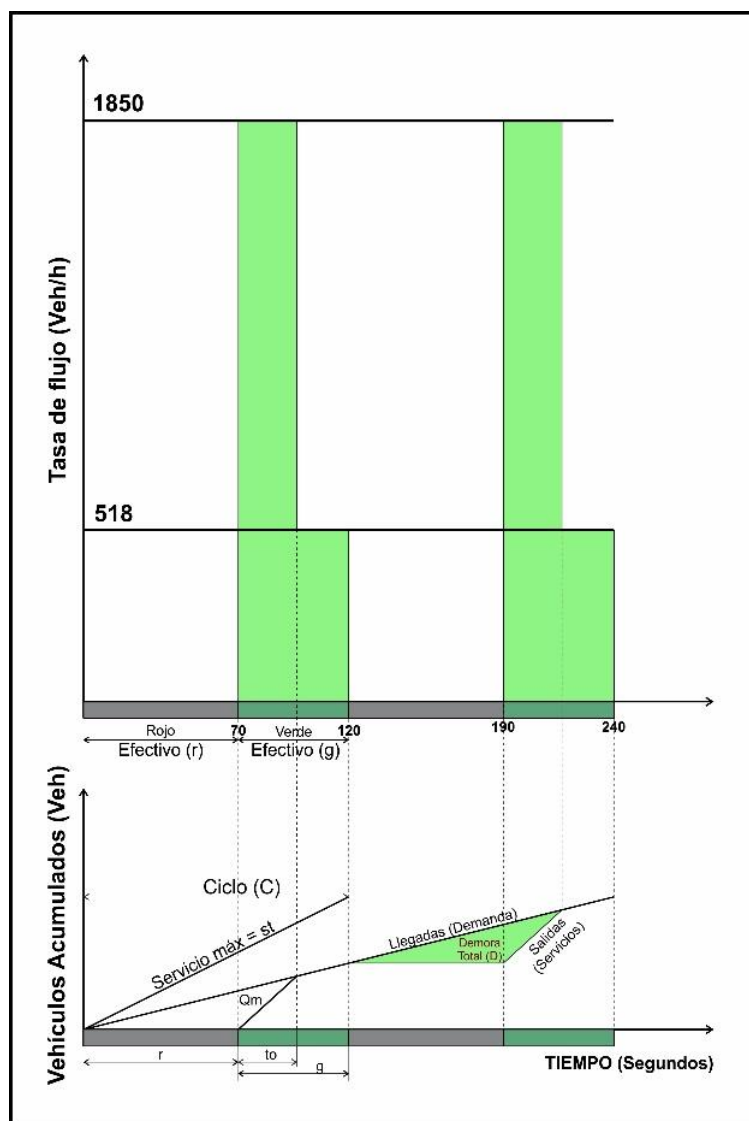
Nota: Esta tabla muestra los valores del aforo vehicular realizado en el sitio, la conversión de moto a vehículos y el valor total en vehículos mixtos para cada hora.

Al tratarse de un flujo vehicular discontinuo (causado por la espera del semáforo) fue necesario hacer un análisis para cada hora por separado, buscando entre ellos cual es la hora más crítica en que los vehículos presentarán los mayores tiempos de espera, estos semáforos tienen una longitud de ciclo de 120 segundos, de los cuales 70 le corresponden al rojo efectivo y 50 al verde efectivo.

En las gráficas se representaron la tasa de flujo y los vehículos acumulados respecto al tiempo, observamos la ocupación de carril según su capacidad máxima, el tiempo en que se disipa la cola después del verde efectivo y la demora total del tránsito por hora.

Figura 15

Fenómeno de espera cuellos de botella en una intersección con semáforos entre 4:00p.m. y 5:00 p.m. - tramo 3



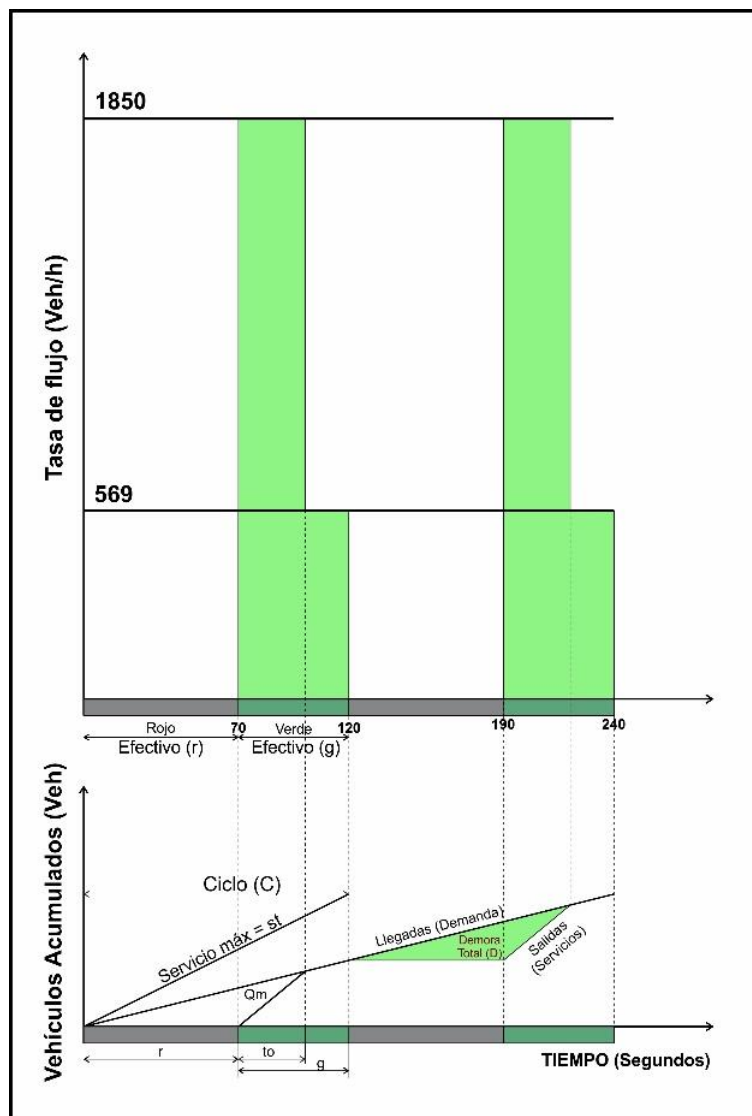
Nota: Adaptado de Elaboración propia

Como resultado del análisis obtuvimos:

- Flujo de saturación (s) es 0.514 Veh/seg
- Tasa media de llegadas (λ) es 0.144 Veh/seg.
- Longitud del ciclo (C) es de 120 segundos
- El verde efectivo (g) es de 50 seg.
- El tiempo para que se disipe la cola después de empezar el verde efectivo (t_o) es de 27.2 segundos.
- La proporción del ciclo de cola (P_q) es de 0.81
- La longitud máxima de cola (Q_m) es de 10 vehículos.
- La longitud promedio de la cola mientras exista (Q_q) es de 5 vehículos.
- La longitud promedio de la cola por ciclo (Q) es 4.1 vehículos.
- La demora máxima que experimenta un vehículo (d_m) es de 70 segundos.
- La demora total para todo el tránsito por ciclo (D) es de 489.2 Seg – Veh
- La demora promedio del tránsito por ciclo (d) es de 28.4 Seg/Veh

Figura 16

Fenómeno de espera cuellos de botella en una intersección con semáforos entre 5:00 p.m. y 6:00 p.m. - tramo 3



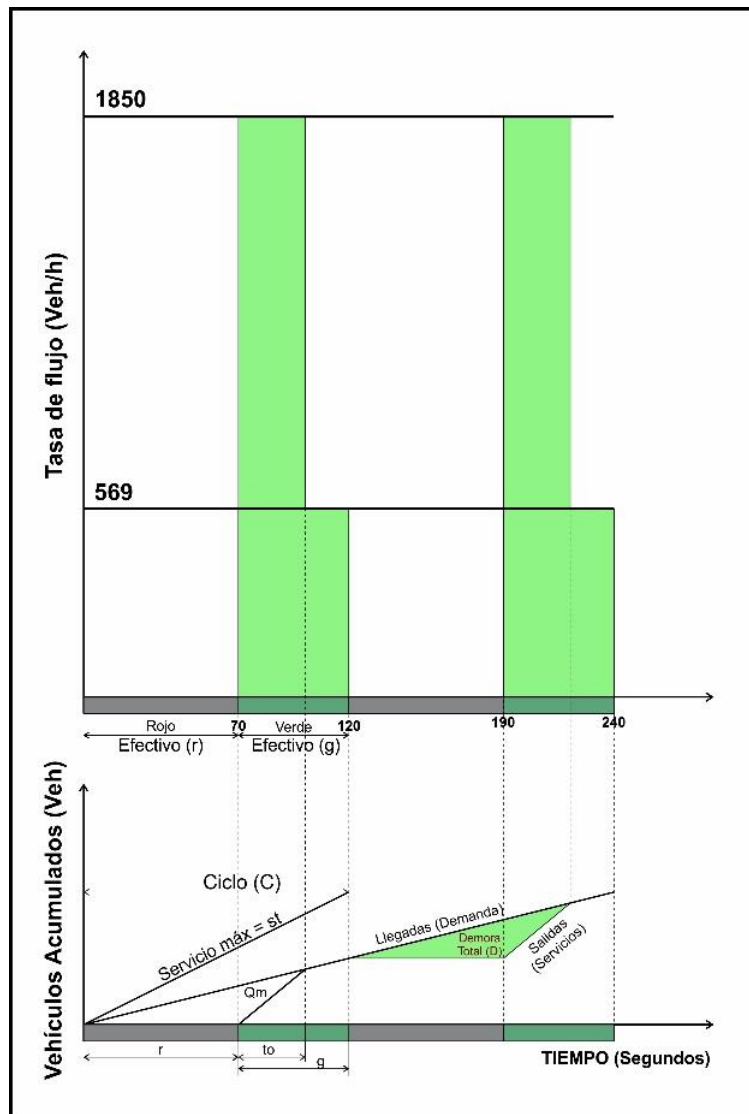
Nota: Adaptado de Elaboración propia.

Como resultado del análisis obtuvimos:

- Flujo de saturación (s) es 0.514 Veh/seg
- Tasa media de llegadas (λ) es 0.158 Veh/seg.
- Longitud del ciclo (C) es de 120 segundos
- El verde efectivo (g) es de 50 seg.
- El tiempo para que se disipe la cola después de empezar el verde efectivo (t_o) es de 31.1 segundos.
- La proporción del ciclo de cola (P_q) es de 0.84
- La longitud máxima de cola (Q_m) es de 11 vehículos.
- La longitud promedio de la cola mientras exista (Q_q) es de 6 vehículos.
- La longitud promedio de la cola por ciclo (Q) es 4.7 vehículos.
- La demora máxima que experimenta un vehículo (d_m) es de 70 segundos.
- La demora total para todo el tránsito por ciclo (D) es de 559.1 Seg – Veh
- La demora promedio del tránsito por ciclo (d) es de 29.5 Seg/Veh

Figura 17

Fenómeno de espera cuellos de botella en una intersección con semáforos entre 6:00 p.m. y 7:00 p.m. - tramo 3



Nota: Adaptado de Elaboración propia.

En la segunda hora 5:00 p.m. – 6:00 p.m. se presentó la mayor demora promedio del tránsito por ciclo.

Como resultado del análisis obtuvimos:

- Flujo de saturación (s) es 0.514 Veh/seg
- Tasa media de llegadas (λ) es 0.152 Veh/seg.
- Longitud del ciclo (C) es de 120 segundos
- El verde efectivo (g) es de 50 seg.
- El tiempo para que se disipe la cola después de empezar el verde efectivo (t_o) es de 29.5 segundos.
- La proporción del ciclo de cola (P_q) es de 0.83
- La longitud máxima de cola (Q_m) es de 11 vehículos.
- La longitud promedio de la cola mientras exista (Q_q) es de 5 vehículos.
- La longitud promedio de la cola por ciclo (Q) es 4.4 vehículos.
- La demora máxima que experimenta un vehículo (d_m) es de 70 segundos.
- La demora total para todo el tránsito por ciclo (D) es de 530.4 Seg – Veh
- La demora promedio del tránsito por ciclo (d) es de 29.0 Seg/Veh

Según los resultados podemos concluir que la segunda hora, entre 5:00 p.m. y 6:00 p.m. es en la que se genera mayor atasco en nuestro tercer punto de estudio (Calle 56 entre la Carrera 21 y Diagonal 15), donde también se evidencia un cambio de nivel de servicio del tramo debido a su condición dinámica, siendo este clasificado ahora como E, ya que a esa hora se hace imposible adelantar, porque los niveles de libertad y comodidad son muy bajos, además se reduce significativamente la velocidad.

6. Causas De Cuellos De Botella

Existen varias causas por las cuales se generan los cuellos de botella y explicaremos a continuación algunas de las que se presentan actualmente en la ciudad.

6.1. Geometría De La Vía

El principal motivo del congestionamiento de las vías por cuellos de botella se presenta en la reducción del número de carriles por la geometría de la vía. El volumen de vehículos se ve represado notoriamente y el flujo de tránsito se ve afectado por estos motivos.

Figura 18

Reducción de carriles de 4 a 2. Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera 27



Nota: Adaptado de Fotografía propia.

6.2. Ocupación De Vendedores Informales

Una problemática bastante frecuente en las ciudades es la ocupación de lugares públicos de puestos de artículos y alimentos por parte de vendedores informales, en la vía. Al ocupar la vía, obstaculizan el libre flujo de tránsito generando congestión y embotellamientos en las vías generalmente urbanas.

Figura 19

Venta de artículos y alimentos por parte de vendedores informales sobre la vía



Nota: Adaptado de Fotografía propia.

6.3. Infracciones De Los Conductores

En las zonas con alto flujo vehicular es común observar una gran cantidad de infracciones, donde esporádicamente se observan agentes de tránsito realizando su labor, tratando de controlar, pero sin sancionar este tipo de conductas. Estas circunstancias son muy frecuentes, pero son, a su vez, las que pueden generar más congestionamiento debido al tiempo

que pueden tardar las personas en el lugar de la infracción, dando lugar a que se obstruyan los carriles, con la consecuencia del llamado “cuello de botella” que tanto daño hace al flujo normal de circulación.

Figura 20

Vehículos infractores



Nota: Adaptado de Fotografía propia.

Figura 21

Vehículos infractores



Nota: Adaptado de Fotografía propia.

7. Consecuencias De Cuellos De Botella

7.1. Pérdidas Económicas

Debido a los tiempos de retraso que generan los cuellos de botella, los conductores y vehículos se ven afectados económicamente, además del estrés que produce en los conductores y pasajeros como usuarios de la vía.

Andar un automóvil en la marcha mínima por un determinado tiempo es nocivo para el motor ya que la lubricación de este se reduce y la constante entrada de gases de otros carros llegan a contaminarlo. Además, en la ciudad Bucaramanga donde gran parte del parque automotor es de tracción mecánica, es posible que los conductores usen constantemente el pedal del embrague o clutch para frenar y arrancar, de manera que se puede incurrir a la práctica de dejarlo oprimido lo que representa un desgaste del vehículo.

Las pérdidas económicas a las que los conductores se ven sometidos varían de forma particular, ya que, según el cargo o trabajo de cada persona, cambia el costo de su hora laboral dando lugar al análisis del valor subjetivo de tiempo de viaje.

8. Conclusiones

- Se obtuvo un gran aporte de información importante y precisa para el análisis, procedimientos y ecuaciones del proyecto, tomado del libro Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones de Cal R. Reyes y Cárdenas J. Versiones 8 y 9.
- Se seleccionaron tres sitios de interés de acuerdo con recomendaciones por llamada telefónica realizada a la Dirección de Tránsito, ya que son puntos relevantes de entrada y salida de tráfico vehicular a la ciudad de Bucaramanga y es fácil de observar la problemática en horas pico.
- Se realizaron tres muestras representativas de flujo vehicular, en tres puntos de la ciudad donde se evidenciaron “cuellos de botella” por reducción de carril; estas muestras fueron tomadas en lapsos de 3 horas, tiempo adecuado para observar el comienzo y el fin de la congestión.
- Los “cuellos de botella” no son ocasionados solamente por la geometría de la vía, sino también por ocupación de carriles por vendedores informales y por malos hábitos por parte de los conductores, de estacionarse al lado de la vía, irrespetando el derecho que tienen los demás conductores a circular más libremente.
- La mala conducción de algunos motociclistas presentó una limitante para el proyecto ya que entorpecieron aún más el tránsito, pero no es un dato que se pueda cuantificar.

- El factor de equivalencia usado para convertir la muestra de motocicletas a vehículos mixtos aforados es de 1.92, tomado del trabajo de grado Determinación de un factor de conversión de motocicletas a vehículos livianos en el área metropolitana de Bucaramanga. A cargo de Eliberto Carreño y Yurley Gaviria.
- El factor de equivalencia usado para convertir la muestra de motocicletas a vehículos mixtos aforados es de 1.92, tomado del trabajo de grado “DETERMINACIÓN DE UN FACTOR DE CONVERSIÓN DE MOTOCICLETAS A VEHÍCULOS LIVIANOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA” A cargo de Eliberto Carreño y Yurley Gaviria. Este factor fue tomado en cuenta a la hora de realizar los aforos únicamente en la ciudad de Bucaramanga y no en el área metropolitana debido a las circunstancias temporales por a la pandemia.
- EL nivel de servicio (NDS) presentado en el primer punto del tramo vial de la mal denominada autopista (Avenida Floridablanca-Bucaramanga sentido sur-norte con bifurcación en la carrera 27), debido a sus características, fue clasificado como tipo C, ya que se restringe la libertad de los conductores al haber interferencia con otros vehículos y disminuir su velocidad, pero siendo este un tramo dinámico, a la hora del congestionamiento, se clasifica como tipo D debido a que se presenta la restricción de geometría en la vía en cuanto a la reducción de carril y se pierde aún más libertad del conductor de ir a una velocidad deseada ya que ocurren interferencias frecuentes con otros vehículos.

- EL nivel de servicio (NDS) presentado en los puntos dos y tres (Calle 56 entre la Carrera 17C y Diagonal 15, Calle 56 entre la Carrera 21 y Diagonal 15), debido a sus características, fue clasificado como tipo D, ya que no existe la libertad para conducir con la velocidad deseada, ocurren interferencias con otros vehículos y existen condiciones externas a la vía que entorpecen el tráfico, pero debido a que son tramos dinámicos, a la hora del congestionamiento, se clasifican como E, porque a esa hora se hace imposible adelantar, ya que los niveles de libertad y comodidad son muy bajos, además se reduce significativamente la velocidad.
- Los resultados obtenidos mencionados en la tabla 7 y 8 contribuyen a un análisis general de la importancia de la prevención de “cuellos de botella”.
- La toma de fotografías mediante el uso de un “drone” evidenció mejor el cuello de botella por reducción de carril.

9. Recomendaciones

- Realizar el aforo manual con alguna aplicación digital ya que de esta forma facilita la toma de los datos por el gran volumen de vehículos que circulan a esas horas por las zonas estudiadas.
- Restauración de señales horizontales debido a su deterioro.
- Analizar en detalle los resultados del estudio permite deducir las pérdidas económicas y sociales que se presentan por la ocurrencia de estos fenómenos de “cuellos de botella”, que pueden ser perdonables por la construcción de obras o hasta por la misma geometría de la vía, mas no por indisciplina vial a la hora de conducir.
- De lo anterior se deduce la implementación de medidas efectivas contra aquellos conductores que entorpecen el tráfico al estacionar y dejar vehículos obstaculizando un carril.
- Los resultados obtenidos pueden ser usados en otros proyectos como complemento de estos, para calcular pérdidas económicas y sociales en el transporte.
- Realizar la toma de datos en horas pico para poder identificar el problema de los “cuellos de botella” por reducción de carril.

- Manejar de mejor forma el control del transporte informal por parte de la Dirección de Tránsito de Bucaramanga. Igualmente, el comportamiento de vendedores ambulantes y de peatones quienes deben atravesar la vía por las esquinas y no por cualquier lugar de la vía.
- Manejar de mejor forma el control por parte de las autoridades de tránsito especialmente en el sector del estudio de la calle 56. Esto permitirá que esta vía, fluya mejor y que las fases de los semáforos a lo largo de la calle, trabajen eficientemente como están programadas, evitando que los vehículos queden estacionados en las intersecciones, con las graves consecuencias que genera el congestionamiento en nuestra ciudad. Se observan momentos en que el automotor no puede pasar, aunque este el semáforo en verde, debido a que el tramo siguiente de la vía está lleno y la intersección también.

Figura 22

Vehículos detenidos que impiden el tráfico con semáforo en verde



Nota: Adaptado de Fotografía propia.

- Se recomienda a las autoridades de tránsito, analizar esta situación de la ciudad, con el uso de drones, que permitan detectar estos conflictos viales.

Referencias Bibliográficas

1. 1. Ortiz E. A más de 703.075 vehículos asciende el parque automotor en Bucaramanga y su área metropolitana [Internet]. UNAB Radio. 2019 [citado 10 enero 2021]. Disponible en: <https://unabradio.com/a-mas-de-703-075-vehiculos-asciende-el-parque-automotor-en-bucaramanga-y-su-area-metropolitana/>
2. Cal R, Reyes Spíndola M, Cárdenas Grisalws J. Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones [Internet]. 7.^a ed. México D.F. : Ediciones Alfaomega, S.A. de C.V.; 1994 [citado 15 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.udocz.com/co/apuntes/61291/ingenieria-de-transito-fundamentos-y-aplicaciones-rafael-cal-y-mayor-reyes-james-cardenas-grisales>
3. 4. Mozo Sánchez J. Análisis de nivel de servicio y capacidad de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo al manual de capacidad de carreteras HCM2000 aplicando MATHCAD [Tesis de Ingeniería Civil]. Universidad Nacional Autónoma de México; 2012. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/417?show=full>
4. Grupo Ingeolan C.A. ArcGIS [Internet]. POT Bucaramanga 2014 – 2027. 2014 [citado 4 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5c32765bb4d544d1a20182ca13fc16b1>
5. Universidad Industrial de Santander, Alcaldía de Bucaramanga, Sociedad Santandereana de Ingenieros. Plan Maestro de Movilidad [Internet]. 1.^a ed. Bucaramanga; 2010 [citado 14 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.amb.gov.co/plan-maestro-de-movilidad/>

6. Carreño E, Gaviria Y. Determinación de un factor de conversión de motocicletas a vehículos livianos en el área metropolitana de Bucaramanga [Tesis de Ingeniería Civil]. Universidad Industrial de Santander; 2021. Disponible en: https://uids-primo.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/1gjmsqs/uids_bucaramanga190335
7. INVIAS, Instituto Nacional de Vías. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles [Internet]. 3.^a ed. Popayán: Editorial UC, Universidad del Cauca; 2020 [citado 1 julio 2021]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/11026-manual-de-capacidad-y-niveles-de-servicio-para-carreteras-de-dos-carriles-2020/file>
8. Kineo Ingeniería, Técnicas de Gestión del Tráfico. Sistemas de identificación y control de vehículos [Internet]. Interempresas. 2019 [citado 10 enero 2021]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Medicion/FeriaVirtual/Producto-Aforo-y-clasificacion-vehicular-71058.html>