

Determinación de Niveles de Servicio Mediante un Análisis Comparativo entre los Factores
Horarios de Máxima Demanda y las Velocidades de Operación en el Tramo Vial de la Carrera 27
entra la Avenida La Rosita y la Calle 36

Paula Andrea Marino Hernández, Elquin Fabián Rodríguez Silva

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Civil

Director

Luis David Arévalo Duran

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela Ingeniería Civil
Bucaramanga

2020

Dedicatoria

A Dios nuestro creador todo poderoso por darme la vida, por cuidarme en cada paso que doy, por darme la fortaleza para afrontar las dificultades y por darme las habilidades, el conocimiento y la perseverancia para poder llegar a esta meta en mi vida.

A mis padres María Aminta Hernández Luna y Yury Marino Jiménez, por estar siempre apoyándome durante este camino, alentándome a seguir adelante, siempre queriendo lo mejor para mí. Estoy orgullosa de las personas maravillosas que son, ustedes son mi mayor ejemplo de constancia, fortaleza, bondad y amor, les debo la persona que soy, infinitas gracias, nunca se rindieron y siempre me tendieron la mano para continuar.

A mi hermano Yury Fabián Marino Hernández, quién fue el pilar fundamental para el inicio de mi carrera profesional. Gracias por todos los años de felicidad que me regalaste, siento que estás conmigo y aunque no te encuentres físicamente en este mundo, y nos hayan faltado muchas cosas por vivir, tu recuerdo seguirá dentro de mi corazón; sé que este momento hubiera sido tan importante y especial para ti como lo es para mí. Te amo infinitamente.

A toda mi familia, que estuvo dispuesta a todo tipo de colaboración, gracias por su apoyo incondicional y motivación; me enseñaron que las dificultades no son motivos para dejar de soñar en grande.

A mis amigos por apoyarme emocionalmente, por creer y respaldar cada decisión que tomé; a mis compañeros de estudio que estuvieron durante todo el camino de formación, por su apoyo y consejos para avanzar en cada obstáculo.

Dedico esto a todos por ser parte de este proceso de formación como persona y profesional.

PAULA ANDREA MARINO HERNÁNDEZ

Dedicatoria

A mi Dios que ha dado mi vida, ha guiado mis pasos, me protege y me da fortalezas todos los días para seguir adelante afrontando las dificultades y sobre todo por ser ese ser maravilloso que ilumina mi alma.

A mis padres Esther Silva Alfonso y Gustavo Rodríguez Sanguino, que mi Dios los tiene en su santa gloria, los llevo en mi corazón los amo eternamente, gracias por traerme a este mundo, padres aunque ya no los pueda ver sé que siempre han estado a mi lado, sé que todos los días de mi vida me protegen y me llevan por un buen camino, recuerdo aquellos momentos de mi niñez que compartimos juntos y cada día vivo orgulloso de lo que han dejado en mi corazón, hoy y siempre les dedico este título y cada triunfo que pueda lograr.

A mis segundos padres, mi nona Agustina Sanguino y mi tío Wilzon Rodríguez, gracias a ellos soy quien soy, y día tras día no me cansare de agradecerles por todo su apoyo y enseñarme que humildemente podemos lograr grandes cosas que las dificultades no son motivos para dejar de soñar en grande.

A mi único hermano Edwin Javier Rodríguez Silva, por sus palabras de fortaleza, cariño y apoyo, a mi sobrino y demás familiares que han hecho parte de esta etapa de mi vida gracias a sus consejos y acompañamiento hemos logrado una meta.

A Luciana un ser maravilloso que llego a mi vida para darme fortaleza y esperanza de seguir luchando cada día por mis sueños y ser una persona ejemplar para ella.

Finalmente dedico este título a todos mis amigos, profesores y demás personas que han aportado sus experiencias, buenas ideas y demás cosas a lo largo de mi camino.

ELQUIN FABIAN RODRÍGUEZ SILVA

Agradecimientos

Primeramente a Dios ya que él dice en el Salmo 32:8 “Te haré entender y te enseñaré el camino en que debes andar, sobre ti fijaré mis ojos”; gracias por darme sabiduría y entendimiento para la realización de la investigación.

A la Universidad Industrial de Santander y a la escuela de Ingeniería Civil, por permitir la culminación de esta meta, un honor ser miembro de esta importante institución.

Al Ingeniero Luis David Arévalo Durán, director de la investigación, por su constante apoyo, compromiso y experiencia, siempre estuvo totalmente dispuesto a contribuir con su conocimiento a la elaboración de la investigación, gracias a sus consejos y metodologías se pudo llevar a cabo el desarrollo completo del trabajo.

A cada uno de los docentes, por su orientación y enseñanza, todo lo aprendido durante mi formación para optar por el título de Ingeniera Civil.

A Anje Johanna Gómez Gómez, por su apoyo incondicional, por estar acompañándome en el desarrollo y crecimiento, por todos sus consejos y recomendaciones, su gran alegría y perseverancia me ayudó a cumplir lo propuesto.

Gracias a todos los que han aportado un granito de arena en el proceso de formación.

PAULA ANDREA MARINO HERNÁNDEZ

Agradecimientos

Principalmente a Dios por permitir la sabiduría para realizar esta investigación.

Agradecer al director de nuestra investigación al profesor Luis David Arévalo, por su compromiso, apoyo y experiencia, por estar siempre dispuesto a colaborar a la elaboración de la investigación, con sus consejos y metodologías fue posible realizar con buenos argumentos nuestro proyecto de grado. Gracias a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander por atender nuestros requerimientos a la hora de realizar la investigación.

Finalmente un agradecimiento eterno a Paula Andrea Marino, amiga y compañera de proyecto de grado, quien ha hecho parte durante estos años de mi carrera profesional, quien es una maravillosa persona con grandes conocimientos, espíritu de alegría y amabilidad, una amiga indiscutiblemente bella con quien podré contar en mi vida para compartir experiencias a lo largo de nuestra vida profesional.

ELQUIN FABIAN RODRÍGUEZ SILVA

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	19
1. Objetivos	20
1.1. Objetivo General	20
1.2. Objetivos Específicos.....	20
2. Marco teórico	21
2.1. Características de tránsito	21
2.1.1. Flujo continuo.....	21
2.1.2. Flujo discontinuo o ininterrumpido	22
2.1.3. Volumen	22
2.1.4. Volúmenes de tránsito	23
2.1.5. Volumen horario de máxima demanda (VHMD).....	24
2.1.6. Factor horario de máxima demanda (FHMD).....	24
2.1.7. Velocidad.....	26
2.1.7.1. Velocidad de operación.....	26
2.1.7.2. Velocidad promedio de marcha	27
2.1.7.3. Velocidad promedio de viaje	27
2.1.7.4. Velocidad media espacial.....	27
2.1.7.5. Velocidad media temporal	27
2.1.7.6. Velocidad de flujo libre.....	28
2.1.7.7. Velocidad percentil	28
2.1.7.8. Velocidad de punto	28

2.1.8. Densidad.....	28
2.2. Niveles de servicio.....	29
2.2.1. Nivel de servicio A.....	30
2.2.2. Nivel de servicio B.....	30
2.2.3. Nivel de servicio C.....	31
2.2.4. Nivel de servicio D.....	31
2.2.5. Nivel de servicio E.....	31
2.2.6. Nivel de servicio F.....	32
2.3. Sistema Vial.....	33
2.3.1. Clasificación vial urbana.....	33
2.3.1.1. Sistema vial arterial.....	33
2.3.1.2. Sistema red local.....	34
2.3.2. Tipología vial urbana.....	35
2.3.2.1. Vías arterias.....	35
2.3.2.2. Vías red local.....	37
3. Metodología.....	41
3.1. Ubicación del tramo vial para aforar.....	41
3.2. Toma de información.....	44
3.3. Tabulación de la información.....	45
4. Cálculos.....	49
4.1. Variación de la información de tránsito en la hora de máxima demanda, para determinar FHMD.....	49
4.2. Composición vehicular.....	52

4.3. Variación horaria del volumen de tránsito.....	54
4.4. Hora pico.....	55
4.5. Nivel de servicio por FHMD	61
4.5.1. Procedimiento aproximado.....	62
4.6. Nivel de servicio por VELOCIDADES	68
4.6.1. Velocidades Sur – Norte.....	69
4.6.1.1. Cálculo de la velocidad media de punto	70
4.6.2. Velocidades Norte – Sur.....	71
4.6.2.1. Cálculo de la velocidad media de punto	73
5. Conclusiones	79
Referencias bibliográficas	82

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Ejemplo de razón de flujo (v)</i>	23
Tabla 2. <i>Variación del volumen de tránsito en la franja horaria de 6.00am a 9:00 am de la carrera 27 entre carrera 27 entre av. La rosita y la calle 36. Sentido: sur – norte</i>	45
Tabla 3. <i>Variación del volumen de tránsito en la franja horaria de 11:30 am a 2:30 pm de la carrera 27 entre carrera 27 entre av. La rosita y la calle 36. Sentido: sur – norte</i>	45
Tabla 4. <i>Variación del volumen de tránsito en la franja horaria de 5:00 am a 8:00 pm de la carrera 27 entre carrera 27 entre av. La rosita y la calle 36. Sentido: sur – norte</i>	46
Tabla 5. <i>Variación del volumen de tránsito en la franja horaria de 6.00am a 9:00 am de la carrera 27 entre la calle 36 y Av. La rosita. Sentido: norte - sur</i>	47
Tabla 6. <i>Variación del volumen de tránsito en la franja horaria de 11:30 am a 2:30 pm de la carrera 27 entre la calle 36 y Av. La rosita. Sentido: norte - sur</i>	47
Tabla 7. <i>Variación del volumen de tránsito en la franja horaria de 05:00 pm a 08:00 pm de la carrera 27 entre la calle 36 y Av. La rosita. Sentido: norte - sur</i>	48
Tabla 8. <i>Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre av. La rosita la y calle 36. Sentido: sur- norte, miércoles 19 de febrero.</i>	50
Tabla 9. <i>Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre av. La rosita la y calle 36. Sentido: norte - sur, miércoles 19 de febrero.</i>	51
Tabla 10. <i>Composición Vehicular Diaria – miércoles 19 de febrero, carrera 27 entre av. la rosita y la calle 36. sentido: sur – norte</i>	52
Tabla 11. <i>Composición Vehicular Diaria – miércoles 19 de febrero, carrera 27 entre av. la rosita y la calle 36. sentido: sur – norte</i>	53

Tabla 12. <i>Cálculos del Factor Hora Pico tomados de la Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre av. La rosita la y calle 36. Sentido: sur- norte- miércoles 19 de febrero.....</i>	55
Tabla 13. <i>Cálculos del Factor Hora Pico tomados de la Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre La Calle 36 y av. La rosita. Sentido: norte- sur miércoles 19 de febrero.....</i>	58
Tabla 14. <i>Porcentaje vial por sentido</i>	62
Tabla 15. <i>Información geométrica de la vía</i>	62
Tabla 16. <i>Información de tránsito.....</i>	63
Tabla 17. <i>Coefficientes de carreteras de Colombia</i>	66
Tabla 18. <i>Niveles de servicio para carreteras</i>	67
Tabla 19. <i>Niveles de servicio para carreteras multicarril</i>	67
Tabla 20. <i>Velocidades sur - norte</i>	69
Tabla 21. <i>Distribución de frecuencias, sur norte</i>	69
Tabla 22. <i>Velocidades norte sur.....</i>	72
Tabla 23. <i>Distribución de frecuencias, norte sur.....</i>	72
Tabla 24. <i>Valores de k.....</i>	75
Tabla 25. <i>Niveles de servicio.....</i>	76
Tabla 26. <i>Resultados</i>	77
Tabla 27. <i>Resultado final</i>	78

Lista de Figuras

	Pág.
Figura N°. 1. Niveles de servicio	30
Figura N°. 2. Niveles de servicio A-F.....	32
Figura N°. 3. Vía arterial tipo en Bucaramanga.....	37
Figura N°. 4. Clasificación vial por jerarquía	39
Figura N°. 5. Perfil de la vía	40
Figura N°. 6. Ubicación aforador en el sentido sur – norte.....	42
Figura N°. 7. Ubicación aforador en el sentido norte - sur	42
Figura N°. 8. Ubicación tramo vial	43
Figura N°. 9. Formato de campo.....	44
Figura N°. 10. Composición vehicular miércoles 19 de febrero carrera 27 entre av. la rosita y la calle 36. sentido: sur – norte.....	52
Figura N°. 11. Composición vehicular miércoles 19 de febrero carrera 27 entre la calle 36 y av. La rosita. Sentido: norte - sur	53
Figura N°. 12. Variación horaria del volumen de tránsito, carrera 27 entre av. la rosita y la calle 36. sentido: sur – norte miércoles 19 de febrero 2020.....	54
Figura N°. 13. Variación horaria del volumen de tránsito, carrera 27 entre la calle 36 y av. la rosita. sentido: norte – sur miércoles 19 de febrero 2020	54
Figura N°. 14. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre av. La rosita y la calle 36. Sentido: sur – norte.	57
Figura N°. 15. Variación del volumen de tránsito y VHMD(q15) carrera 27 entre av. la rosita y la calle 36. Sentido: sur – norte.....	57

Figura N°. 16. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre calle 36 y Av La Rosita. Sentido: norte - sur	60
Figura N°. 17. Variación del volumen de tránsito y VHMD(q15) carrera 27 entre la calle 36 y av. La rosita y. Sentido: norte - sur	60
Figura N°. 18. Ajuste fc	63
Figura N°. 19. Ajuste fs.....	64
Figura N°. 20. Ajuste fb	64
Figura N°. 21. Ajuste fa	64
Figura N°. 22. Histograma y polígono de frecuencias de velocidades punto	70
Figura N°. 23. Percentiles de velocidad	71
Figura N°. 24. Histograma y polígono de frecuencias de velocidades punto	72
Figura N°. 25. Percentiles de velocidad norte sur	73
Figura N°. 26. Distribución normal - niveles de confiabilidad	74
Figura N°. 27. Niveles de servicio para clasificación de vías urbanas	77

Lista de Apéndices

(Ver adjuntos en el CD)

Apéndice A. Formato de campo tipo

Apéndice B. Formatos de campo

Apéndice C. Procesamiento de datos

Resumen

Título: Determinación de Niveles de Servicio Mediante un Análisis Comparativo entre los Factores Horarios de Máxima Demanda y las Velocidades de Operación en el Tramo Vial de la Carrera 27 entre la Avenida La Rosita y la Calle 36.*

Autor(es): Paula Andrea Marino Hernández, Elquin Fabián Rodríguez Silva**

Palabras clave: Factor horario de máxima demanda, velocidad de operación, niveles de servicio, volúmenes de tránsito.

Descripción: Este trabajo se lleva a cabo con el fin de determinar en la ciudad de Bucaramanga los niveles de servicio mediante un análisis comparativo entre los factores horarios de máxima demanda y las velocidades de operación de vehículos tomando como modelo el tramo vial de la carrera 27 comprendida entre la Avenida la Rosita y la calle 36, con el cuál se busca evaluar las condiciones actuales de movilidad vehicular. Los volúmenes de tránsito son precisos para el período de duración en el que se realiza el aforo vehicular, por lo que sus variaciones tienden a ser repetitivas, lo que caracteriza un comportamiento semejante en determinados espacios comprendidos en un día, es decir, en horas pico; por eso se realiza un detallado estudio en el que se determinen los parámetros más simbólicos del tránsito durante el periodo en el cual se presenta la máxima demanda vehicular a lo largo de un día. El informe contiene los resultados de un aforo vehicular de acuerdo con cada tipo de transporte, taxis, motos, particulares, buses, busetas, camiones y volquetas, durante tres franjas horarias, cada una compuesta de tres horas, 6:00 a 9:00 am, 11:30 a 2:30 pm y finalmente 5:00 a 8:00 pm, las cuales ya se encuentran definidas como las horas de mayor flujo. La información se tomó cada 15 minutos durante 3 horas consecutivas de acuerdo con las franjas horarias establecidas, en los sentidos norte – sur y sur - norte de los carriles que componen la vía; a su vez se determinó la velocidad de operación de 300 vehículos que circularon por el tramo vial intervenido en una longitud de 50 metros.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arevalo Duran, Ingeniero Civil

Abstract

Title: Determination of Service Levels Using a Comparative Analysis of Maximum Demand Time Factors and Operating Speeds in the Carrera 27 Road Stretch between Avenue Rosita and 36th Street.*

Author: Paula Andrea Marino Hernández, Elquin Fabián Rodríguez Silva**

Keywords: Hourly factor of maximum demand, speed of operation, service levels, traffic volumes.

Description: This work is carried out in order to determine in the city of Bucaramanga the levels of service through a comparative analysis between the time factors of maximum demand and the speeds of operation of vehicles taking as model the road section of the race 27 between the Avenue La Rosita and 36th Street, which seeks to assess the current conditions of vehicular mobility. The traffic volumes are accurate for the period of duration in which the vehicle capacity is made, so that their variations tend to be repetitive, which characterizes a similar behavior in certain spaces covered in a day, that is, in peak hours: for this reason, a detailed study is carried out in which the most symbolic parameters of traffic are determined during the period in which the maximum vehicular demand is presented over a day. The report contains the results of a vehicle capacity according to each type of transport, taxis, motorcycles, individuals, buses, vans, trucks and dump trucks, during three time slots, each consisting of three hours, 6:00 to 9:00 am, 11:30 a.m. to 2:30 p.m. and finally 5:00 a.m. to 8:00 p.m., which are already defined as the hours of greatest flow. The information was taken every 15 minutes for 3 consecutive hours according to the established time slots, in the north - south and south - north directions of the lanes that make up the road; in turn, the operating speed of 300 vehicles that circulated along the intervened road section in a length of 50 meters was determined.

*Bachelor Thesis

**Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Duran, Ingeniero Civil

Introducción

Con el paso del tiempo el incremento mundial cada vez es más acelerado, esto hace que el transporte de bienes y personas sea una necesidad la cual requiere soluciones eficaces. La infraestructura vial es uno de los patrimonios más apreciados con el que cuenta cualquier país, por lo que su capacidad y calidad simbolizan uno de los cuantos indicadores del grado de desarrollo de este.

La ciudad de Bucaramanga fue creciendo tanto socialmente como económicamente, lo que generó un progreso urbanístico gigante; este progreso contribuyó a que el parque automotor aumentara de la misma forma, y con esto la planificación inicial del tramo vial puede tener un nivel de servicio o cerca de la capacidad, lo que repercute en congestionamientos, demoras, bajas velocidades, incomodidad los usuarios y grandes posibilidades de accidentes.

Esto quiere decir que la demanda generada por estos vehículos que circulan sobre las vías aumentó, lo que genera congestión pues la demanda de tráfico es mayor que la capacidad ofrecida por las calzadas; como el país se encuentra en constante aumento, las vías deben estar totalmente diseñadas y construidas para soportar cada uno de los factores que dicho crecimiento genera.

En esa orden de ideas y como contribución a analizar el fenómeno de congestionamiento, se decidió determinar los niveles de servicio de la carrera 27 entre la Avenida la Rosita y la calle 36 de la Ciudad de Bucaramanga, con el fin de determinar con mayor precisión si el diseño geométrico y de operación de ese tramo cumple con la demanda actual del flujo vehicular, y proporciona niveles de servicio adecuados en horas pico hoy día y a futuro.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Determinar los niveles de servicio de la infraestructura vial en el tramo de la carrera 27 entre la Avenida la Rosita y la Calle 36.

1.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información en campo de volúmenes de tránsito y velocidades de operación.
- Estudiar los componentes de los factores horarios de máxima demanda y las velocidades de operación.
- Analizar los factores horarios de máxima demanda y las velocidades de operación.
- Evaluar comparativamente los factores horarios de máxima demanda y las velocidades de operación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Características de tránsito

Los tres parámetros básicos utilizados para describir el tránsito en cualquier carretera se clasifican en, volumen o razón de flujo, velocidad y densidad. El Manual de Capacidad de Carreteras 2.000 (HCM 2.000) por sus siglas en inglés, Highway Capacity Manual, divide el tránsito en dos situaciones, el flujo ininterrumpido y el flujo interrumpido. Para este análisis, se usará como base el flujo ininterrumpido, ya que el flujo interrumpido es usado para el tránsito urbano. (Highway Capacity Manual, 2.000)

2.1.1. Flujo continuo

Es aquel en que el vehículo que va transitando por la vía solo se ve obligado a detenerse por razones inherentes al tráfico. Es el tráfico de las carreteras. Los vehículos se detienen cuando ocurre un accidente, cuando llegan a un destino específico, paradas interrumpidas, etc.

Los caminos que poseen las características de flujo continuo no tienen elementos externos a la corriente del tránsito, tales como semáforos, que pueden interrumpir el mismo. Cuando se tiene un camino que opera en estas condiciones, las características de operación de los vehículos que por él circulan son el resultado de la intersección entre los vehículos existentes en la corriente de tránsito y entre los vehículos y las características geométricas y del medio ambiente en el cual se desarrolla un camino.

En otras palabras, el flujo continuo es la circulación de vehículos donde no existen intersecciones con semáforos o con señales de alto.

2.1.2. Flujo discontinuo o ininterrumpido

Es el característico de las calles, donde las interrupciones son frecuentes por cualquier motivo, siendo una de estas los controles de tránsito de las intersecciones como son los semáforos, los ceda el paso, etc.

Los caminos que poseen las características de flujo interrumpido poseen elementos fijos que pueden interrumpir la corriente vehicular. En esos elementos se incluyen los semáforos, las señales de alto y cualquier otro dispositivo de control del tránsito, cuya presencia origina la detención periódica de los vehículos (o la disminución significativa de su velocidad) independientemente de los volúmenes de tránsito existentes.

El flujo interrumpido es la circulación de vehículos en las carreteras donde existen intersecciones como semáforos o señales de alto y es utilizado para el tránsito urbano. (p27)

2.1.3. Volumen

El volumen de tránsito es definido como el número de vehículos que pasan en un determinado punto durante un intervalo de tiempo. La unidad para el volumen es simplemente “vehículos” o “vehículos por unidad de tiempo”.

Un intervalo común de tiempo para el volumen es un día, descrito como vehículos por día. Los volúmenes diarios frecuentemente son usados como base para la planificación de las carreteras.

Para los análisis operacionales, se usan los volúmenes horarios, ya que el volumen varía considerablemente durante el curso de las 24 horas del día. La hora del día que tiene el volumen horario más alto es llamada “hora pico”. Los volúmenes de hora pico son usados como la base para el diseño de carreteras y para varios tipos de análisis operacionales.

Para períodos menores a una hora, generalmente el volumen se expresa como un equivalente horario de las razones de flujo. Por ejemplo, 1.114 vehículos observados en un período de 15 minutos se pueden expresar como:

$$1.114 \text{ veh} / 0.25 \text{ h} = 4.456 \text{ veh/h}$$

La razón de flujo (v) es 4,456 veh/h en un intervalo de 15 minutos, en el cual fueron observados 1,114 vehículos. Hay que tomar en cuenta que el volumen horario no es 4,456 veh/h, como se aprecia en el siguiente ejemplo: (A4,p. 1-3)

Tabla 1. *Ejemplo de razón de flujo (v)*

Intervalo de tiempo	Vehículos	Razón de flujo (veh/h) (veh / intervalo de tiempo)
7:00 - 7:15	1114	4456
7:15 - 7:30	1167	4668
7:30 - 7:45	1002	4008
7:45 - 8:00	1148	4592
7:00 - 8:00	4431	= volumen horario

Nota 1. Adaptado de: Arévalo, L, Marino, P y Rodríguez E. Ejemplo razón de flujo (v). Bucaramanga. (2020).

2.1.4. Volúmenes de tránsito

El volumen de tránsito se define como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o una calzada, durante un período determinado, y se expresa como: (Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J, 2007) (García, A, Parrado, A, 2017)

$$Q=N/T$$

Donde:

$Q = \text{vehículos que pasan por unidad de tiempo vehículos/períodos}$

$N = \text{número total de vehículos que pasan (vehículos)}$

$T = \text{período determinado (unidad de tiempo)}$

2.1.5. Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

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

2.1.6. Factor horario de máxima demanda (FHMD)

El factor horario de máxima demanda es la relación entre el volumen registrado en la hora de máxima demanda y el valor máximo de la circulación durante el periodo de tiempo dado dentro de dicha hora, multiplicado por el número de veces que ese período cabe en una hora, generalmente se usan periodos de 5, 10 y 15 minutos.

El FHMD en autopistas varia usualmente entre 0.70 y 0.9, en intersecciones varia alrededor de 0.85 y cuando se acerca a la unidad que es el valor máximo, el flujo de transito tiende a ser uniforme. (Ingeniería Real, 2020, p.)

Teniendo en cuenta que los factores de máxima demanda son las horas donde se presenta una mayor demanda de vehículos en la vía permitiendo saber en qué momento del día el tránsito será mucho más pesado y por ende facilita la creación de planes de contingencia para que no se presenten trancones y a si agilizar el tránsito. Puede ser usado para convertir el volumen horario pico a flujo actual pico de la siguiente manera:

$$v = \frac{V}{FHMD}$$

$v = \text{flujo actual}$

$V = \text{volumen horario durante un período}$

El valor obtenido de un volumen horario de máxima demanda no necesariamente es constante a lo largo de toda la hora, existen periodos dentro de la hora donde las tasas de flujo son mayores a la de la hora misma.

Para hacer un análisis de las variaciones de volumen de tráfico en la hora de máxima demanda se utiliza el factor horario de máxima demanda que relaciona el volumen horario de máxima demanda con el flujo máximo. Su fórmula matemática es: (Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J, 2007, p.) (García, A, Parrado, A, 2017, 2p.)

$$FHMD = \frac{VHMD}{N (qmáx)}$$

Donde:

$FHMD = \text{factor horario de máxima demanda, o FHP, es decir, factor de hora pico}$

$VHMD = \text{volumen horario de máxima demanda.}$

$N = \text{número de períodos durante la hora de máxima demanda.}$

$qmáx = \text{flujo máximo}$

El máximo valor que puede alcanzar el FHMD es la unidad, que significa que existe una distribución uniforme de flujos máximos dentro de la hora, cuanto más inferior a la unidad sea el

valor de FHMD indica que existen concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora, generalmente tomados de 15 minutos.

2.1.7. Velocidad

La velocidad es definida como una razón de movimiento, en distancia por unidad de tiempo, generalmente como kilómetros por hora (km/h). El HCM 2,000 usa la velocidad promedio de viaje como la medida de velocidad, ya que es fácil de calcular observando cada vehículo dentro del tránsito y es la medida estadística más relevante en relación con otras variables. La velocidad promedio de viaje se calcula dividiendo el largo de la carretera, sección o segmento bajo consideración entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que pasan por dicho segmento. (Highway Capacity Manual, 2.000)

La ecuación para el cálculo es como sigue:

$$S = L / t_a$$

Donde:

$S =$ *Velocidad promedio de viaje (km/h)*

$L =$ *Longitud del segmento de la carretera (km)*

$t_a =$ *Tiempo promedio de viaje en el segmento (h)*

2.1.7.1. Velocidad de operación

La máxima velocidad media a la que un conductor puede circular en una sección dada de vía bajo condiciones favorables de meteorología, condiciones predominantes de tráfico y sin exceder la velocidad segura en ningún momento, determinada ésta mediante la velocidad de diseño basada en un análisis por tramos de la vía.

En las carreteras primarias, en las que el volumen de tráfico es alto, el parámetro que determina el nivel de servicio es la Velocidad de Operación (VOp), la que, en éste caso, depende fundamentalmente de la intensidad del tráfico. (Ministerio de Transporte, p.)

2.1.7.2. Velocidad promedio de marcha

Es aquella medida de tránsito basada en la observación del tiempo de viaje de los vehículos pasando por una sección de la carretera en una longitud conocida. Calculada dividiendo la longitud del segmento entre el tiempo promedio de rodaje de los vehículos pasando por dicho segmento. El tiempo de rodaje es medido únicamente cuando los vehículos están en movimiento.

2.1.7.3. Velocidad promedio de viaje

Es una medida de tránsito basada en la observación del tiempo de viaje en una longitud dada de una carretera. Esto es la longitud del segmento dividido entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que pasan por dicho segmento, incluyendo todos los tiempos de demora por paradas.

2.1.7.4. Velocidad media espacial

Es definida como la velocidad promedio de todos los vehículos, ocupando una sección dada de la carretera sobre un período específico de tiempo.

2.1.7.5. Velocidad media temporal

Es definida como la velocidad promedio de todos los vehículos, pasando por un punto de la carretera sobre un período específico de tiempo.

2.1.7.6. Velocidad de flujo libre

La velocidad de flujo libre FFS (por sus siglas en inglés, free flow speed): es la velocidad promedio de los vehículos en una carretera dada, medida bajo condiciones de un volumen bajo, cuando los conductores tienden a conducir a una velocidad alta sin restricciones de demoras.

2.1.7.7. Velocidad percentil

Es la velocidad por debajo de la cual un porcentaje de vehículos viajan en una dirección del tránsito. Así, una velocidad del 85 percentil significa que el 85% de los vehículos en el tránsito viajan a cierta velocidad o por debajo de ella. La velocidad del 85 percentil es usada como una medida de la máxima velocidad razonable para el tránsito.

Para una carretera con un nivel de servicio F, la velocidad promedio de viaje es igual a la velocidad promedio de rodaje.

2.1.7.8. Velocidad de punto

Se denomina velocidad de punto a aquella velocidad de los vehículos que recorren distancias relativamente pequeñas (25, 50, 70, 100 metros). Los estudios de la velocidad de punto se conducen para estimar la distribución de velocidades de vehículos en una corriente del tráfico, en una localización particular en una carretera. (Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J, 2007, p. 259 - 271)

2.1.8. Densidad

La densidad es el número de vehículos que ocupa cierta longitud dada de una carretera o carril y generalmente se expresa como vehículos por kilómetro (veh/km). La densidad se puede calcular de la siguiente manera:

$$D = v / S$$

Donde:

$v = \text{razón de flujo (veh/h)}$

$S = \text{Velocidad promedio de viaje (km/h)}$

$D = \text{Densidad (veh/km)}$

La densidad es posiblemente el parámetro más importante en el tránsito, porque es la medida más directamente relacionada con la demanda de tránsito. (A4, p.6)

2.2. Niveles de servicio

Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción de sus pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial. (Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J, 2007)

El nivel de servicio se relaciona con la velocidad y tiempo de recorrido, libertad para maniobrar (frenar, visibilidad, etc.), interrupciones, comodidad y seguridad, entonces básicamente se relaciona si usted va cómodo a una velocidad constante sin tantos frenados o atascos, se podría decir que el nivel de servicio está en a o f.

En las carreteras primarias, en las que el volumen de tráfico es alto, el parámetro que determina el nivel de servicio es la Velocidad de Operación (VOp), la que, en este caso, depende fundamentalmente de la intensidad del tráfico. (Ministerio de Transporte, 2008)

En la figura N°.1 se ejemplifica los niveles de servicios con el concepto de semáforo, dónde el nivel A, es el de mejores condiciones, representado en color verde y el nivel F siendo el de las peores condiciones, representad en color rojo. (División Tránsito Vialidad Nacional)



Figura N°. 1. Niveles de servicio

Nota 2. Adaptado de: http://transito.vialidad.gov.ar:8080/web_ns/metodologia.jsp

El HCM 2000 establece seis niveles de servicio LOS por sus siglas en inglés (level of service), identificados por letras desde la A hasta la F, donde en el nivel A se logra un flujo vehicular libre mientras que en el nivel F, se alcanza el flujo forzado. (Highway Capacity Manual, 2000)

2.2.1. Nivel de servicio A

Representa una circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al motorista, pasajero o peatón es excelente.

2.2.2. Nivel de servicio B

Está dentro del rango del flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada con la relación del nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior a los del nivel de servicio A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.

2.2.3. Nivel de servicio C

Pertenece al rango del flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.

2.2.4. Nivel de servicio D

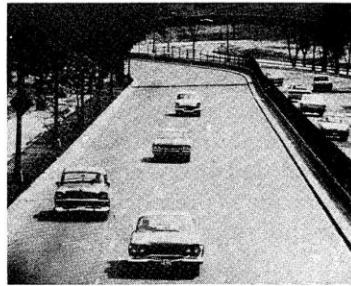
Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor o peatón experimentan un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.

2.2.5. Nivel de servicio E

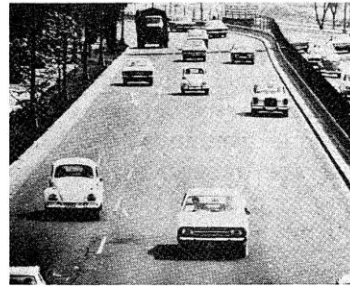
El funcionamiento está en él, o cerca del límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo o peatón a “ceder el paso”. Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los conductores o peatones. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.

2.2.6. Nivel de servicio F

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables. (Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J, 2007)



Nivel de Servicio A



Nivel de Servicio B



Nivel de Servicio C



Nivel de Servicio D



Nivel de Servicio E



Nivel de Servicio F

Figura N°. 2. Niveles de servicio A-F

Nota 3. Adaptado de: Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J. (2007). Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones. México: 8ª. Edición. Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V

2.3. Sistema Vial

La clasificación vial urbana se adopta con base a la función y la localización que cumple dentro de la estructura urbana de movilidad, clasificándose en:

2.3.1. Clasificación vial urbana

2.3.1.1. Sistema vial arterial

El sistema vial arterial a su vez está fundamentado en la categorización de las vías y su clasificación de acuerdo con su función en la dinámica territorial. Este sistema se divide en:

Vías primarias

Vías continuas que permiten la conexión de la totalidad del territorio metropolitano y municipal, y su articulación e integración con los circuitos regionales y nacionales que están orientadas a canalizar el tráfico vehicular rápido.

Vías secundarias

Conforman los ejes viales que alimentan zonas urbanas y permiten la conexión con las vías municipales primarias. A su vez, estas vías se caracterizan por su función de estructuración de las actividades intraurbanas y están también orientadas a canalizar el tráfico vehicular rápido.

Vías terciarias

Las vías municipales terciarias son aquellas que permiten articular vías primarias y secundarias que por su extensión o nivel de servicio son complementarias al de éstas. Se caracterizan por su función de polos de atracción de la actividad urbana y están orientadas a canalizar el tráfico urbano lentos, público y privado.

2.3.1.2. Sistema red local

La clasificación de vial de la red local se define y se adopta por la red local conformada por las vías construidas por los urbanizadores y cedidas gratuitamente al municipio o al AMB, como un elemento vial que se integra y da continuidad a la malla vial existente.

Son de competencia municipal y no presentan influencia metropolitana. La red local de vías se subdivide en dos niveles, así:

Nivel 1

Caracterizadas por su función de penetración a los sectores residenciales, orientados a canalizar el flujo vehicular público y privado.

Nivel 2

Caracterizadas por su función de servicio interno de las áreas residenciales y comerciales, orientadas a canalizar principalmente los flujos peatonales hacia los sectores de mayor actividad.

2.3.2. Tipología vial urbana

La tipología de la malla vial urbana se adopta con base en su diseño, la función, sus características, el tipo de tráfico, su relación, sus aspectos ambientales e importancia en el desplazamiento. Se clasifican en:

2.3.2.1. Vías arterias

Son vías que por su diseño, función e importancia dentro de la misma, son destinadas al desplazamiento del tráfico masivo originado por el transporte interurbano público y privado.

Las vías en general, como infraestructura fundamental dentro de un sistema de transporte, deberán ser equipadas con los aditamentos que permitan el adecuado funcionamiento del sistema: paraderos, estaciones de transferencia, puentes peatonales, semáforos y demás componentes de las zonas viales.

Las vías del plan vial arterial se presentan como urbano y suburbano. Hacen parte de las vías arterias los siguientes tipo:

Vía Tipo V – 0

Son las vías del plan vial arterial que tiene una sección transversal mayor de 60 metros. En términos generales, está destinada al desplazamiento de peatones y de vehículos para transporte particular, público y de carga.

La vía tipo V-0 consta de cuatro calzadas, dos en cada sentido: una calzada central rápida y una calzada lateral lenta, esta última reservada para el acceso a sectores residenciales, áreas funcionales o de actividad. Cada calzada consta de tres carriles y contemplan franjas de manejo ambiental perimetrales a la vía.

Las calzadas se delimitan mediante tres separadores: uno central y dos intermedios entre las calzadas lenta y rápida. Además, la vía tiene dos andenes ubicados uno a cada lado de esta destinados a la circulación de los peatones.

Vía Tipo V-1

Son las vías Arteriales que tiene una sección transversal entre 60 y 40 metros. En términos generales, está destinada al desplazamiento de peatones y de vehículos para transporte particular, público y de carga

La vía tipo V-1 consta de cuatro calzadas, dos en cada sentido: una calzada central rápida y una calzada lateral lenta, esta última reservada para el acceso a sectores residenciales, áreas funcionales o de actividad. Cada calzada consta de tres carriles y contemplan franjas de manejo ambiental perimetrales a la vía.

Las calzadas se delimitan mediante tres separadores: uno central y dos intermedios entre las calzadas lenta

Vía Tipo V-2

Son las vías del plan vial arterial que tiene entre 30 m y 40 m de sección transversal. En términos generales, está destinada al desplazamiento de peatones y de vehículos para el transporte particular, público y de carga.

La vía Tipo V-2 consta un andén a cada lado de su trazado para permitir la circulación de peatones, dos calzadas (una en cada sentido) divididas por un separador; cada calzada consta de tres carriles. Se deben contemplar franjas de manejo ambiental perimetrales a la vía.

Vía Tipo V – 3

Son las vías tipo del Plan Vial Arterial que tiene entre 25 m y 30 m de sección transversal. En términos generales, está destinada al desplazamiento de peatones y de vehículos para el transporte particular, público y de carga.

La vía tipo V-3 consta de dos calzadas, una en cada sentido; cada calzada consta de tres carriles; se contemplan franjas de manejo ambiental perimetrales a la vía.

Las calzadas se delimitan mediante un separador central. Además, consta de dos andenes laterales a lado y lado de la vía, con una zona dura para permitir la circulación peatonal.

NOMBRE	TIPO	SECCION VIAL
Autopista Bucaramanga – Floridablanca	V-0	>60 metros
Autopista Bucaramanga – Girón	V-1	56 metros
Vía Palenque – Café Madrid	V-1	52 metros
Carrera – Diagonal 15	V-2	32 metros
Carrera 27	V-2	32 metros
Avenida La Rosita	V-2	32 metros
Avenida Quebrada Seca	V-3	30 metros
Bulevar Bolívar	V-3	30 metros
Bulevar Santander	V-3	30 metros
Transversal Oriental	V-3	27 metros
Transversal Metropolitana	V-3	Variable

Figura N°. 3. Vía arterial tipo en Bucaramanga
Nota 4. Adoptada de: Decreto 078. Alcaldía Bucaramanga, 2008.

2.3.2.2. Vías red local

Se adoptan como secciones transversales las tipologías en la red vial local, para ser utilizadas en el diseño geométrico de las vías del plan arterial en el ámbito urbano. Hacen parte de la red vial local los siguientes tipos de vías:

Vía Tipo V – 4

Son las vías de la red vial local que tiene mínimo 18 m y máximo 25 m de sección transversal. En términos generales, están destinadas al desplazamiento de peatones y de vehículos para el transporte particular y eventualmente, es factible al tránsito de vehículos para el servicio público, siempre y cuando este uso sea el resultado de un estudio que soporte la determinación.

Vía Tipo V – 5

Es la vía de la red vial local que tiene entre 15 m y 18 m de sección transversal. En términos generales, está destinada al desplazamiento de peatones y de vehículos para el transporte particular.

La vía tipo V-5 consta de una calzada de dos o tres carriles con la posibilidad de uno en cada sentido, o en un solo sentido y de un andén a cada lado de ella y su tratamiento dependerá de lo establecido en el programa de manejo del espacio público.

Vía Tipo V – 6

Son las vías de la red vial local que tiene entre 12 m y 15 m de sección transversal. En términos generales, está destinada al desplazamiento de peatones y de vehículos para el transporte particular.

La vía tipo V-6 consta de una calzada de dos carriles con la posibilidad de uno en cada sentido o en un solo sentido y un andén a cada lado de ella y su tratamiento dependerá de lo establecido en el programa de manejo del espacio público.

Vía Tipo V – 7

Son las vías de la red vial local que tienen entre 9 m y 12 m de sección transversal. En términos generales, está destinada al desplazamiento de peatones y de vehículos para el transporte particular.

La vía tipo V-7 consta de una calzada de dos carriles con posibilidad de uno en cada sentido o en un solo sentido.

Vía Tipo V – 8

Es la vía de la red local que tiene una sección transversal menor a 9 metros y consta de una calzada de un carril y en algunos casos no presentará calzada debido a condiciones específicas del diseño urbano. Alcaldía de Bucaramanga. (2008).

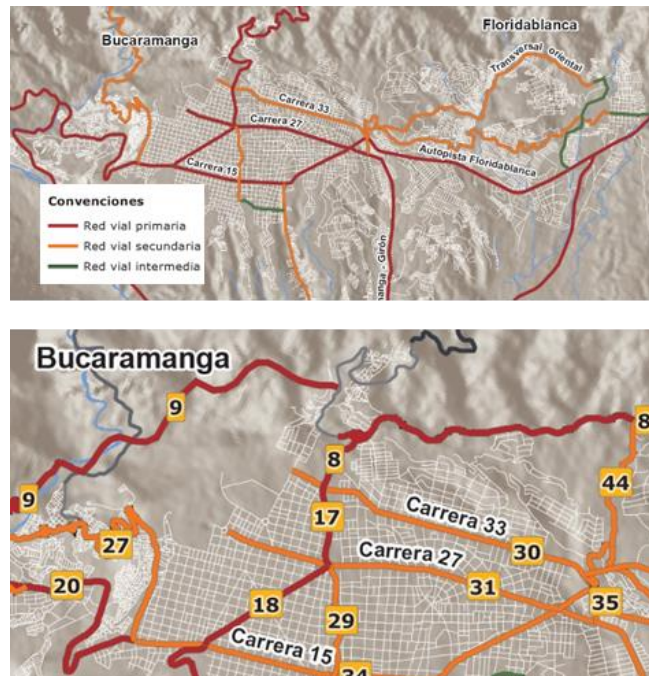


Figura N°. 4. Clasificación vial por jerarquía

Nota 5. Adaptado de: Plan Maestro de Movilidad, Área Metropolitana de Bucaramanga 2011-2030.

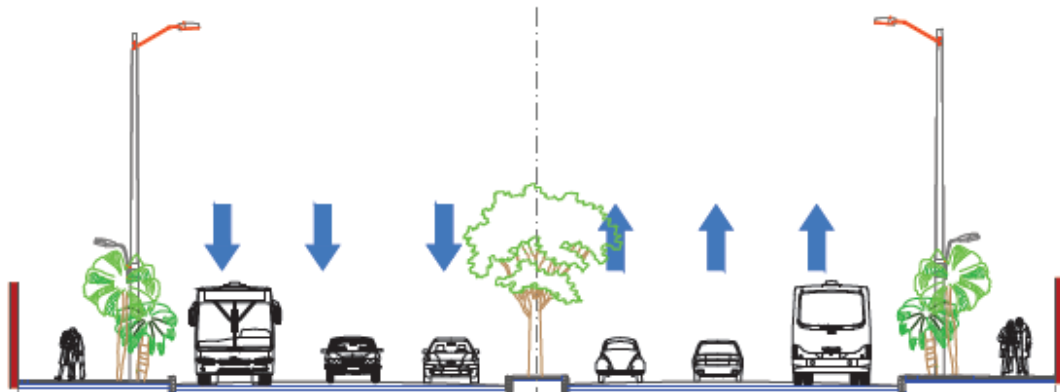


Figura N°. 5. Perfil de la vía

Nota 6. Adaptado de: Plan Maestro de Movilidad, Área Metropolitana de Bucaramanga 2011-2030

3. METODOLOGÍA

A continuación se describe la metodología o etapas realizadas en la presente investigación

1. Observación y formulación del tramo de estudio.
2. Realizar una exploración de documentos referentes en las bases bibliográficas seleccionadas del tema a investigar para obtener una idea clara de lo que se realizará en el proyecto.
3. Realizar aforos vehiculares en horas pico en los tramos viales establecidos a intervenir para determinar el volumen y las velocidades durante un periodo en determinado día.
4. Realizar el análisis de los factores de los factores horarios de máxima demanda y las velocidades de operación para realizar una evaluación comparativa.
5. Verificar los niveles de servicio de los tramos intervenidos, de acuerdo con las condiciones que se describen en términos de factores tales como la velocidad, el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.
6. Recopilar todos los resultados para establecer observaciones y/o conclusiones.

3.1. Ubicación del tramo vial para aforar

Tramo vial de la carrera 27 entre La Avenida la Rosita y la Calle 36, luego de definir el tramo de estudio, se ubican estratégicamente los lugares para realizar los aforos. El primero ubicado en La Avenida Rosita con carrera 27, aforando los vehículos en sentido Sur – Norte y el segundo punto ubicado en la salida de la Carrera 27 con Calle 36, aforando los vehículos que recorren en el sentido Norte – Sur.



Figura N°. 6. Ubicación aforador en el sentido sur – norte.
Nota 7. Elaborado por: Marino, P, Rodríguez E. 2020



Figura N°. 7. Ubicación aforador en el sentido norte - sur
Nota 8. Elaborado por: Marino, P, Rodríguez E. 2020

De acuerdo con el POT de Bucaramanga este tramo vial que comprende la carrera 27 entre La Avenida La Rosita y La Calle 36, tiene 183.1 metros, según su clasificación urbana, se encuentra clasificada como vía primaria.

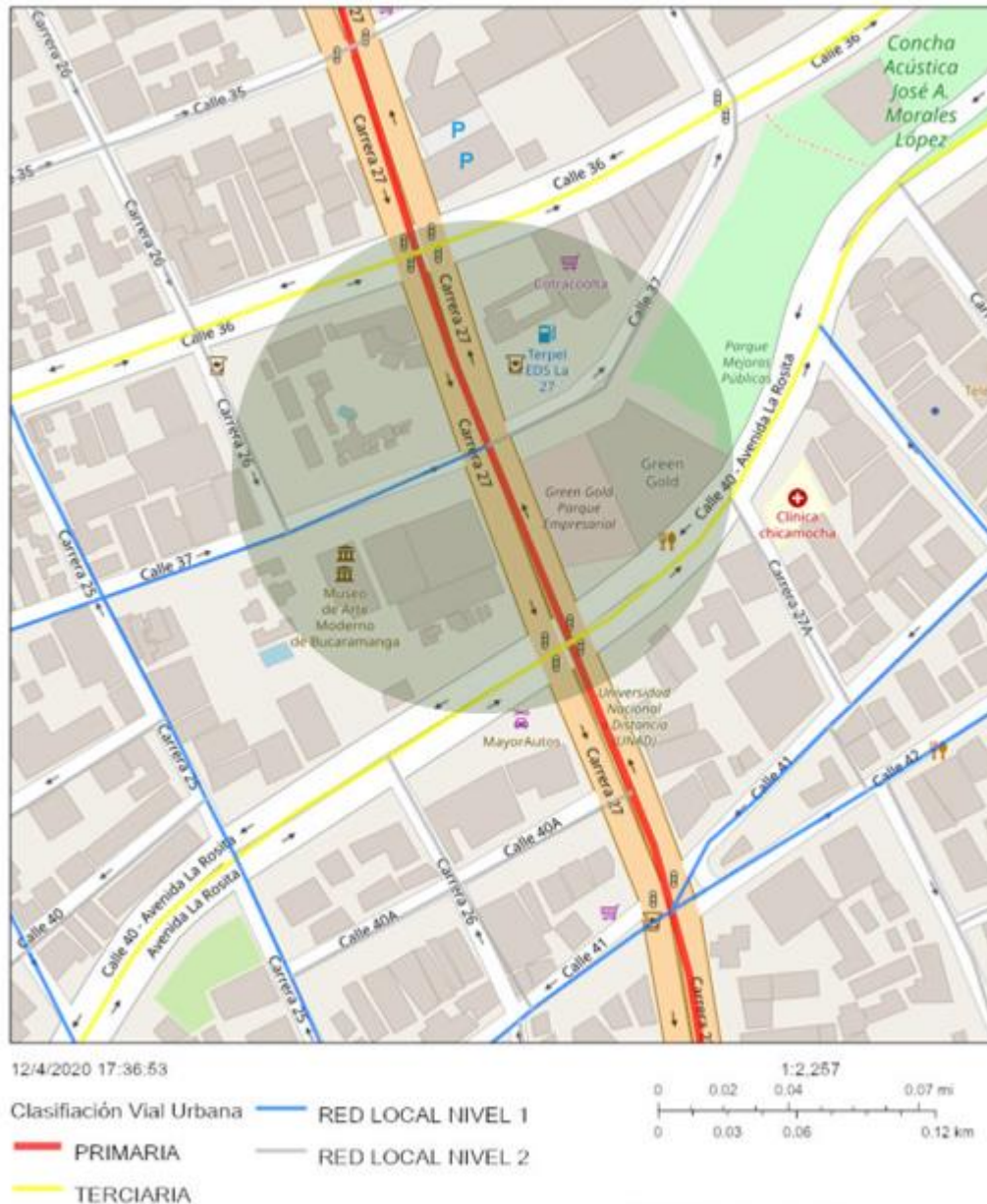


Figura N°. 8. Ubicación tramo vial

Nota 9. POT Bucaramanga 2014 - 2017. Adaptado de: 2020.

<https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5c32765bb4d544d1a20182ca13fc16b1>

3.3. Tabulación de la información.

Se realizó la tabulación de la información recopilada en los formatos de campo y se obtuvo la siguiente información.

Tabla 2. Variación del volumen de tránsito en la franja horaria de 6.00am a 9:00 am de la carrera 27 entre carrera 27 entre av. La rosita y la calle 36. Sentido: sur – norte

HORA PICO - VOLUMENES DE TRANSITO								
Fecha: D/M/A	19/02/2020	Hora Inicio:	6:00 A.M.	Localización:	CARRERA 27 ENTRE AV. LA ROSITA Y LA CALLE 36. SENTIDO: SUR - NORTE	Hoja:		
Dia:	MIÉRCOLES	Hora Final:	8:00 P.M.			De:		
HORA	MOTOS	TAXIS	PARTICULARES	BUSETAS	CAMIONES	VOLQUETAS	BUSES	TOTAL
6:00 - 6:15	450	80	261	11	8	3	10	823
6:15 - 6:30	475	96	247	17	15	2	6	858
6:30 - 6:45	380	97	339	13	17	0	8	854
6:45 - 7:00	557	113	364	12	9	1	3	1059
7:00 - 7:15	568	144	370	11	12	1	8	1114
7:15 - 7:30	603	117	418	9	14	0	6	1167
7:30 - 7:45	510	91	374	8	12	0	7	1002
7:45 - 8:00	595	117	406	12	13	0	5	1148
8:00 - 8:15	330	102	275	12	18	0	6	743
8:15 - 8:30	300	90	358	16	21	0	8	793
8:30 - 8:45	348	93	367	11	17	1	6	843
8:45 - 9:00	369	85	337	14	18	0	5	828
	5485	1225	4116	146	174	8	78	11232

Tabla 3. Variación del volumen de tránsito en la franja horaria de 11:30 am a 2:30 pm de la carrera 27 entre carrera 27 entre av. La rosita y la calle 36. Sentido: sur – norte

HORA PICO - VOLUMENES DE TRANSITO								
Fecha: D/M/A	19/02/2020	Hora Inicio:	6:00 A.M.	Localización:	CARRERA 27 ENTRE AV. LA ROSITA Y LA CALLE 36. SENTIDO: SUR - NORTE	Hoja:		
Dia:	MIÉRCOLES	Hora Final:	8:00 P.M.			De:		
HORA	MOTOS	TAXIS	PARTICULARES	BUSETAS	CAMIONES	VOLQUETAS	BUSES	TOTAL
11:30 - 11:45	315	48	225	11	17	0	5	621
11:45 - 12:00	396	89	246	13	13	0	5	762
12:00 - 12:15	432	67	209	7	12	0	4	731
12:15 - 12:30	456	102	207	20	12	0	5	802
12:30 - 12:45	350	89	235	18	5	0	4	701
12:45 - 1:00	378	75	239	15	7	0	3	717

HORA PICO - VOLUMENES DE TRANSITO								
Fecha: D/M/A	19/02/2020	Hora Inicio:	6:00 A.M.	Localización:	CARRERA 27 ENTRE AV. LA ROSITA Y LA CALLE 36. SENTIDO: SUR - NORTE	Hoja:		
Día:	MIÉRCOLES	Hora Final:	8:00 P.M.			De:		
HORA	MOTOS	TAXIS	PARTICULARES	BUSETAS	CAMIONES	VOLQUETAS	BUSES	TOTAL
1:00 - 1:15	550	123	315	9	9	1	6	1013
1:15 - 1:30	594	105	379	7	11	0	4	1100
1:30 - 1:45	498	91	374	8	12	0	7	990
1:45 - 2:00	598	117	416	12	13	0	5	1161
2:00 - 2:15	360	102	289	12	13	0	6	782
2:15 - 2:30	397	90	358	16	21	1	4	887
	5324	1098	3492	148	145	2	58	10267

Tabla 4. Variación del volumen de tránsito en la franja horaria de 5:00 am a 8:00 pm de la carrera 27 entre carrera 27 entre av. La rosita y la calle 36. Sentido: sur – norte

HORA PICO - VOLUMENES DE TRANSITO								
Fecha: D/M/A	19/02/2020	Hora Inicio:	6:00 A.M.	Localización:	CARRERA 27 ENTRE AV. LA ROSITA Y LA CALLE 36. SENTIDO: SUR - NORTE	Hoja:		
Día:	MIÉRCOLES	Hora Final:	8:00 P.M.			De:		
HORA	MOTOS	TAXIS	PARTICULARES	BUSETAS	CAMIONES	VOLQUETAS	BUSES	TOTAL
5:00 - 5:15	517	103	279	14	17	1	7	938
5:15 - 5:30	442	58	260	9	19	0	4	792
5:30 - 5:45	462	76	291	12	9	1	3	854
5:45 - 6:00	541	87	307	6	11	0	2	954
6:00 - 6:15	579	82	297	5	8	1	4	976
6:15 - 6:30	450	66	234	3	4	2	5	764
6:30 - 6:45	494	81	264	5	10	0	5	859
6:45 - 7:00	353	49	232	4	4	0	1	643
7:00 - 7:15	355	79	318	8	12	0	7	779
7:15 - 7:30	486	117	313	12	13	0	5	946
7:30 - 7:45	360	102	289	12	13	0	6	782
7:45 - 8:00	397	90	358	16	21	1	4	887
	5436	990	3442	106	141	6	53	10174

Tabla 5. Variación del volumen de tránsito en la franja horaria de 6.00am a 9:00 am de la carrera 27 entre la calle 36 y Av. La rosita. Sentido: norte - sur

HORA PICO - VOLUMENES DE TRANSITO								
Fecha: D/M/A	19/02/2020	Hora Inicio:	6:00 A.M.	Localización:	CARRERA 27 ENTRE LA CALLE 36 Y AV. LA ROSITA. SENTIDO: NORTE - SUR	Hoja:		
Día:	MIÉRCOLES	Hora Final:	8:00 P.M.			De:		
HORA	MOTOS	TAXIS	PARTICULARES	BUSETAS	CAMIONES	VOLQUETAS	BUSES	TOTAL
6:00 - 6:15	334	74	258	16	3	0	3	688
6:15 - 6:30	376	93	291	17	4	0	5	786
6:30 - 6:45	393	132	268	13	4	0	7	817
6:45 - 7:00	503	197	265	8	11	0	7	991
7:00 - 7:15	378	147	232	7	2	0	4	770
7:15 - 7:30	401	130	354	7	5	1	1	899
7:30 - 7:45	409	116	253	5	3	1	2	789
7:45 - 8:00	475	133	351	3	6	0	2	970
8:00 - 8:15	388	137	322	3	5	1	2	858
8:15 - 8:30	320	138	268	7	9	1	2	745
8:30 - 8:45	368	133	300	5	7	0	3	816
8:45 - 9:00	395	129	366	7	10	1	4	912
	4740	1559	3528	98	69	5	42	10041

Tabla 6. Variación del volumen de tránsito en la franja horaria de 11:30 am a 2:30 pm de la carrera 27 entre la calle 36 y Av. La rosita. Sentido: norte - sur

HORA PICO - VOLUMENES DE TRANSITO								
Fecha: D/M/A	19/02/2020	Hora Inicio:	6:00 A.M.	Localización:	CARRERA 27 ENTRE LA CALLE 36 Y AV. LA ROSITA. SENTIDO: NORTE - SUR	Hoja:		
Día:	MIÉRCOLES	Hora Final:	8:00 P.M.			De:		
HORA	MOTOS	TAXIS	PARTICULARES	BUSETAS	CAMIONES	VOLQUETAS	BUSES	TOTAL
11:30 - 11:45	370	101	233	2	5	0	2	713
11:45 - 12:00	367	87	371	4	10	0	5	844
12:00 - 12:15	427	67	303	11	4	0	2	814
12:15 - 12:30	430	71	342	6	9	0	4	862
12:30 - 12:45	352	74	480	17	6	0	4	933
12:45 - 1:00	310	69	333	12	7	1	3	735
1:00 - 1:15	409	104	316	5	3	1	2	840
1:15 - 1:30	475	87	348	13	6	0	5	934
1:30 - 1:45	388	79	361	9	5	1	2	845
1:45 - 2:00	317	114	325	11	13	1	4	785
2:00 - 2:15	378	89	376	5	11	0	3	862
2:15 - 2:30	388	79	364	9	15	1	4	860
	4611	1021	4152	104	94	5	40	10027

Tabla 7. Variación del volumen de tránsito en la franja horaria de 05:00 pm a 08:00 pm de la carrera 27 entre la calle 36 y Av. La rosita. Sentido: norte - sur

HORA PICO - VOLUMENES DE TRANSITO								
Fecha: D/M/A	19/02/2020	Hora Inicio:	6:00 A.M.	Localización:	CARRERA 27 ENTRE LA CALLE 36 Y AV. LA ROSITA. SENTIDO: NORTE - SUR	Hoja:		
Día:	MIÉRCOLES	Hora Final:	8:00 P.M.			De:		
HORA	MOTOS	TAXIS	PARTICULARES	BUSETAS	CAMIONES	VOLQUETAS	BUSES	TOTAL
5:00 - 5:15	387	80	336	17	8	0	2	830
5:15 - 5:30	472	90	383	14	12	0	4	975
5:30 - 5:45	315	53	254	11	7	0	2	642
5:45 - 6:00	373	75	286	9	10	0	5	758
6:00 - 6:15	652	66	375	4	9	0	2	1108
6:15 - 6:30	552	83	286	12	6	0	1	940
6:30 - 6:45	479	63	330	3	7	0	4	886
6:45 - 7:00	486	46	231	7	5	1	2	778
7:00 - 7:15	450	80	261	6	8	3	3	811
7:15 - 7:30	475	96	247	11	8	2	6	845
7:30 - 7:45	480	97	297	9	7	0	8	898
7:45 - 8:00	557	113	278	7	9	1	3	968
	5678	942	3564	110	96	7	42	10439

4. CÁLCULOS

Para este análisis de volúmenes vehiculares, se agruparon los aforos realizados en la carrera 27 entre la Calle 36 y la Avenida la Rosita, la agrupación se hizo en diferentes categorías vehiculares, las cuales se dividen en 7.

1. **Particulares:** automóviles, camperos y pick-up.
2. **Buses:** buses intermunicipales y Metrolínea.
3. **Busetas:** busetas escolares, busetas de transporte de alimentos y maquinaria.
4. **Camiones:** camiones de 2 ejes pequeños, camiones de 2 ejes grandes.
5. **Volquetas.**
6. **Motocicletas.**
7. **Taxis.**

Los datos fueron agrupados cada 15 minutos en periodos de 4, es decir, 1 hora, encontrando el volumen horario de mayor tránsito y la cantidad de vehículos mixtos que pasaron.

4.1. Variación de la información de tránsito en la hora de máxima demanda, para determinar FHMD

Tabla 8. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre av. La rosita la y calle 36. Sentido: sur- norte, miércoles 19 de febrero.

HORA PICO - VOLUMENES DE TRANSITO									
Fecha: D/M/A	19/02/2020	Hora Inicio:	6:00 A.M.	Localización:	CARRERA 27 ENTRE AV. LA ROSITA Y LA CALLE 36. SENTIDO: SUR - NORTE	Hoja:			
Dia:	MIÉRCOLES	Hora Final:	8:00 P.M.			De:			
HORA	MOTOS	TAXIS	PARTICULARES	BUSSETAS	CAMIONES	VOLQUETAS	BUSES	TOTAL	VEH/H
6:00 - 6:15	450	80	261	11	8	3	10	823	3594
6:15 - 6:30	475	96	247	17	15	2	6	858	
6:30 - 6:45	380	97	339	13	17	0	8	854	
6:45 - 7:00	557	113	364	12	9	1	3	1059	
7:00 - 7:15	568	144	370	11	12	1	8	1114	4431
7:15 - 7:30	603	117	418	9	14	0	6	1167	
7:30 - 7:45	510	91	374	8	12	0	7	1002	
7:45 - 8:00	595	117	406	12	13	0	5	1148	
8:00 - 8:15	330	102	275	12	18	0	6	743	3207
8:15 - 8:30	300	90	358	16	21	0	8	793	
8:30 - 8:45	348	93	367	11	17	1	6	843	
8:45 - 9:00	369	85	337	14	18	0	5	828	
11:30 - 11:45	315	48	225	11	17	0	5	621	2916
11:45 - 12:00	396	89	246	13	13	0	5	762	
12:00 - 12:15	432	67	209	7	12	0	4	731	
12:15 - 12:30	456	102	207	20	12	0	5	802	
12:30 - 12:45	350	89	235	18	5	0	4	701	3531
12:45 - 1:00	378	75	239	15	7	0	3	717	
1:00 - 1:15	550	123	315	9	9	1	6	1013	
1:15 - 1:30	594	105	379	7	11	0	4	1100	
1:30 - 1:45	498	91	374	8	12	0	7	990	3820
1:45 - 2:00	598	117	416	12	13	0	5	1161	
2:00 - 2:15	360	102	289	12	13	0	6	782	
2:15 - 2:30	397	90	358	16	21	1	4	887	
5:00 - 5:15	517	103	279	14	17	1	7	938	3538
5:15 - 5:30	442	58	260	9	19	0	4	792	
5:30 - 5:45	462	76	291	12	9	1	3	854	
5:45 - 6:00	541	87	307	6	11	0	2	954	
6:00 - 6:15	579	82	297	5	8	1	4	976	3242
6:15 - 6:30	450	66	234	3	4	2	5	764	
6:30 - 6:45	494	81	264	5	10	0	5	859	
6:45 - 7:00	353	49	232	4	4	0	1	643	
7:00 - 7:15	355	79	318	8	12	0	7	779	3394
7:15 - 7:30	486	117	313	12	13	0	5	946	
7:30 - 7:45	360	102	289	12	13	0	6	782	
7:45 - 8:00	397	90	358	16	21	1	4	887	
	16245	3313	11050	400	460	16	189	31673	31673

Tabla 9. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre av. La rosita la y calle 36. Sentido: norte - sur, miércoles 19 de febrero.

HORA PICO - VOLUMENES DE TRANSITO									
Fecha: D/M/A	19/02/2020	Hora Inicio:	6:00 A.M.	Localización:	CARRERA 27 ENTRE LA CALLE 36 Y AV. LA ROSITA. SENTIDO: NORTE - SUR	Hoja:			
Día:	MIÉRCOLES	Hora Final:	8:00 P.M.			De:			
HORA	MOTOS	TAXIS	PARTICULARES	BUSETAS	CAMIONES	VOLQUETAS	BUSES	TOTAL	VEH/H
6:00 - 6:15	334	74	258	16	3	0	3	688	3282
6:15 - 6:30	376	93	291	17	4	0	5	786	
6:30 - 6:45	393	132	268	13	4	0	7	817	
6:45 - 7:00	503	197	265	8	11	0	7	991	
7:00 - 7:15	378	147	232	7	2	0	4	770	3428
7:15 - 7:30	401	130	354	7	5	1	1	899	
7:30 - 7:45	409	116	253	5	3	1	2	789	
7:45 - 8:00	475	133	351	3	6	0	2	970	
8:00 - 8:15	388	137	322	3	5	1	2	858	3331
8:15 - 8:30	320	138	268	7	9	1	2	745	
8:30 - 8:45	368	133	300	5	7	0	3	816	
8:45 - 9:00	395	129	366	7	10	1	4	912	
11:30 - 11:45	370	101	233	2	5	0	2	713	3233
11:45 - 12:00	367	87	371	4	10	0	5	844	
12:00 - 12:15	427	67	303	11	4	0	2	814	
12:15 - 12:30	430	71	342	6	9	0	4	862	
12:30 - 12:45	352	74	480	17	6	0	4	933	3442
12:45 - 1:00	310	69	333	12	7	1	3	735	
1:00 - 1:15	409	104	316	5	3	1	2	840	
1:15 - 1:30	475	87	348	13	6	0	5	934	
1:30 - 1:45	388	79	361	9	5	1	2	845	3352
1:45 - 2:00	317	114	325	11	13	1	4	785	
2:00 - 2:15	378	89	376	5	11	0	3	862	
2:15 - 2:30	388	79	364	9	15	1	4	860	
5:00 - 5:15	387	80	336	17	8	0	2	830	3205
5:15 - 5:30	472	90	383	14	12	0	4	975	
5:30 - 5:45	315	53	254	11	7	0	2	642	
5:45 - 6:00	373	75	286	9	10	0	5	758	
6:00 - 6:15	652	66	375	4	9	0	2	1108	3712
6:15 - 6:30	552	83	286	12	6	0	1	940	
6:30 - 6:45	479	63	330	3	7	0	4	886	
6:45 - 7:00	486	46	231	7	5	1	2	778	
7:00 - 7:15	450	80	261	6	8	3	3	811	3522
7:15 - 7:30	475	96	247	11	8	2	6	845	
7:30 - 7:45	480	97	297	9	7	0	8	898	
7:45 - 8:00	557	113	278	7	9	1	3	968	
15029 3522 11244 312 259 17 124 30507									

4.2. Composición vehicular

Con los aforos completamente consolidadas, se suma el 100% de los vehículos, para después determinar el porcentaje de cada tipo de vehículo que fue contado.

La cantidad de vehículos que transitan a diario en la vía especificada en diferentes sentidos se clasifican teóricamente en autos, buses y camiones.

Con el aforo realizado en campo se permitió clasificar los vehículos por tipo, tamaño y otras características. Y se realizó la composición vehicular del tramo vial. y variación horaria del volumen de tránsito.

Tabla 10. *Composición Vehicular Diaria – miércoles 19 de febrero, carrera 27 entre av. la rosita y la calle 36. sentido: sur – norte*

	MOTOS	TAXIS	PARTICULARES	BUSSETAS	CAMIONES	VOLQUETAS	BUSES	TOTAL
CANT. DIARIA	16245	3313	11050	400	460	16	189	31673
EQUIVALENCIA	51,29%	10,46%	34,89%	1,26%	1,45%	0,05%	0,60%	

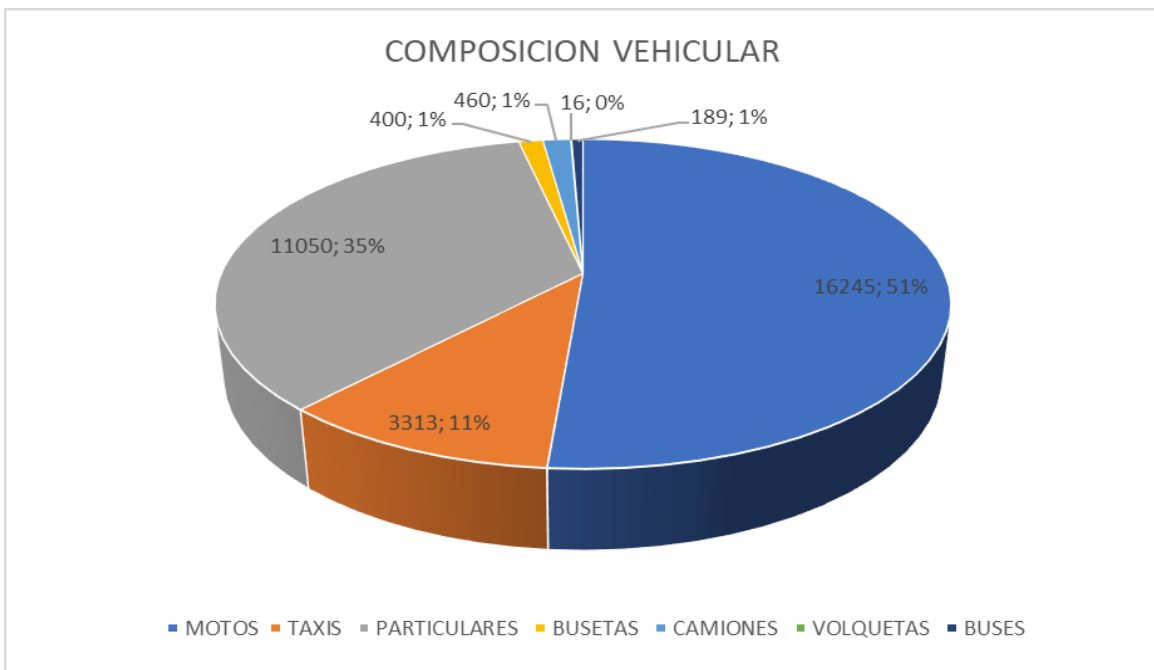


Figura N°. 10. Composición vehicular miércoles 19 de febrero carrera 27 entre av. la rosita y la calle 36. sentido: sur – norte

Tabla 11. *Composición Vehicular Diaria – miércoles 19 de febrero, carrera 27 entre av. la rosita y la calle 36. sentido: sur – norte*

	MOTOS	TAXIS	PARTICULARES	BUSETAS	CAMIONES	VOLQUETAS	BUSES	TOTAL
CANT. DIARIA	15029	3522	11244	312	259	17	124	30507
EQUIVALENCIA	49,26%	11,54%	36,86%	1,02%	0,85%	0,06%	0,41%	

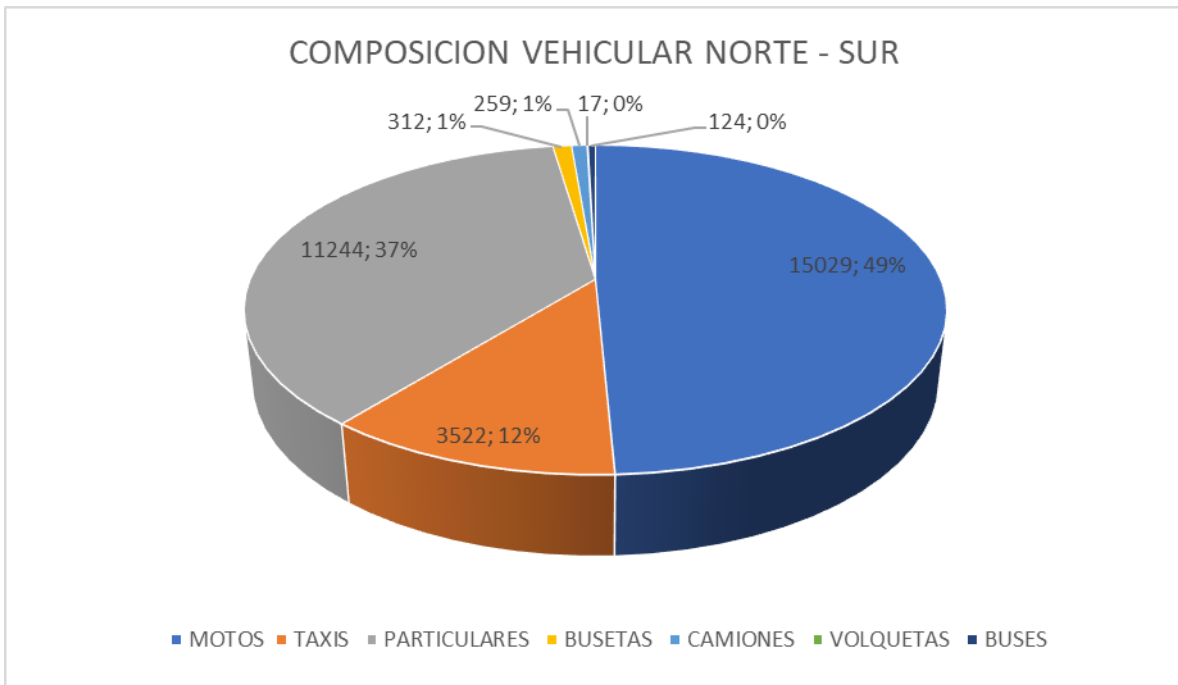


Figura N°. 11. Composición vehicular miércoles 19 de febrero carrera 27 entre la calle 36 y av. La rosita. Sentido: norte - sur

4.3. Variación horaria del volumen de tránsito

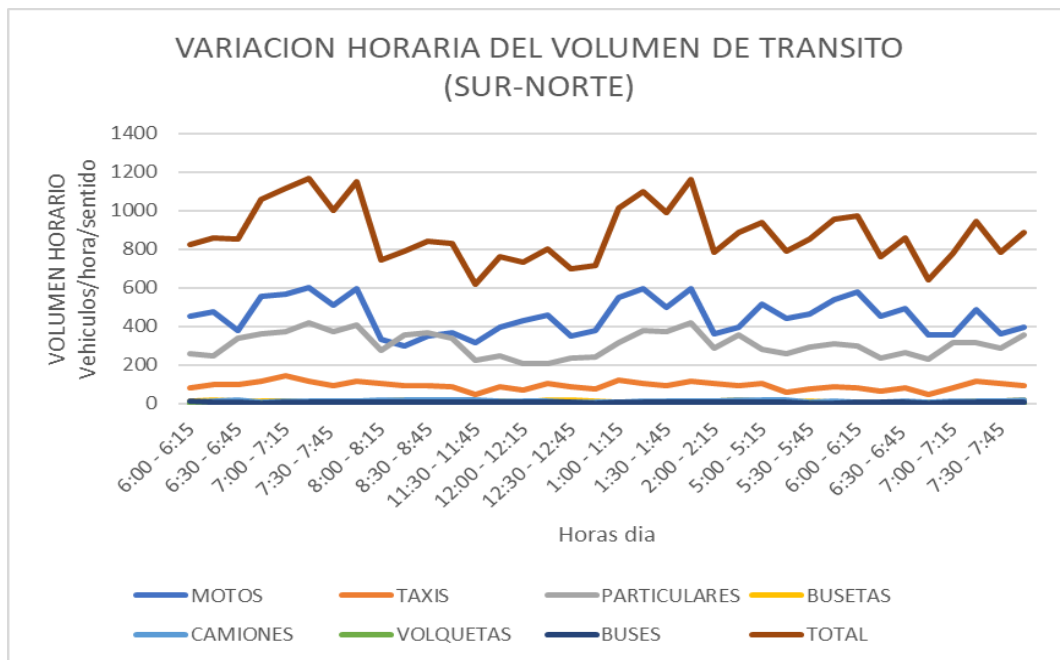


Figura N°. 12. Variación horaria del volumen de tránsito, carrera 27 entre av. la rosita y la calle 36. sentido: sur – norte miércoles 19 de febrero 2020

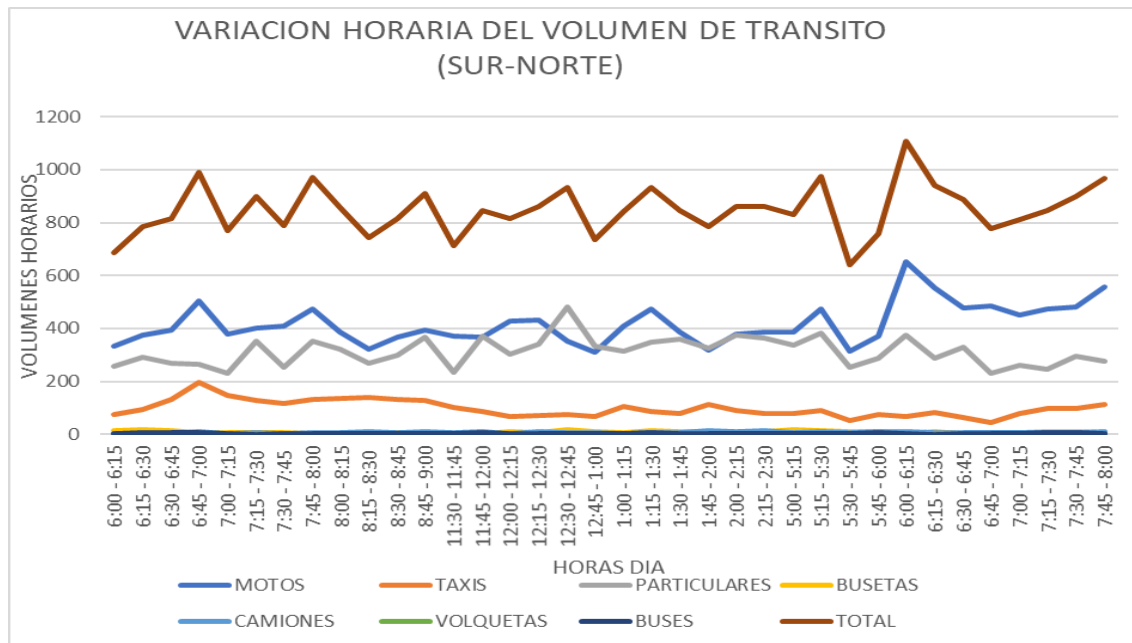


Figura N°. 13. Variación horaria del volumen de tránsito, carrera 27 entre la calle 36 y av. la rosita. sentido: norte – sur miércoles 19 de febrero 2020

4.4. Hora pico

Luego se toma el volumen máximo vehicular en el período de máxima demanda, para así, calcular el *factor de hora pico*.

Tabla 12. Cálculos del Factor Hora Pico tomados de la Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre av. La rosita la y calle 36. Sentido: sur- norte- miércoles 19 de febrero

HORA	TOTAL	VEH/H	Qmax	FHP
6:00 - 6:15	823	3594	1059	0,848
6:15 - 6:30	858			
6:30 - 6:45	854			
6:45 - 7:00	1059			
7:00 - 7:15	1114	4431	1167	0,949
7:15 - 7:30	1167			
7:30 - 7:45	1002			
7:45 - 8:00	1148			
8:00 - 8:15	743	3207	843	0,951
8:15 - 8:30	793			
8:30 - 8:45	843			
8:45 - 9:00	828			
11:30 - 11:45	621	2916	802	0,909
11:45 - 12:00	762			
12:00 - 12:15	731			
12:15 - 12:30	802			
12:30 - 12:45	701	3531	1100	0,803
12:45 - 1:00	717			
1:00 - 1:15	1013			
1:15 - 1:30	1100			
1:30 - 1:45	990	3820	1161	0,823
1:45 - 2:00	1161			
2:00 - 2:15	782			
2:15 - 2:30	887			
5:00 - 5:15	938	3538	954	0,927
5:15 - 5:30	792			
5:30 - 5:45	854			
5:45 - 6:00	954			
6:00 - 6:15	976	3242	976	0,83
6:15 - 6:30	764			
6:30 - 6:45	859			
6:45 - 7:00	643			
7:00 - 7:15	779	3394	946	0,897
7:15 - 7:30	946			
7:30 - 7:45	782			
7:45 - 8:00	887			

En la *Tabla 12* se observa, que la hora de máxima demanda corresponde al periodo entre las 7:00 am y las 8:00 am, con un volumen horario de:

$$VHMD = 1114 + 1167 + 1002 + 1148$$

$$VHMD = 4431 \text{ Vehiculos Mixtos /h}$$

$$VHMD(q_{15}) = \frac{VHMD}{4} = \frac{4431}{4} = 1108$$

El volumen máximo para periodos de 15 minutos corresponde al de las 7:15 - 7:30, con un valor de 1167 vehículos mixtos. Por lo tanto, el FHMD, de acuerdo con la ecuación (6), es:

$$FHMD_{15} = \frac{4431}{4(1167)} = 0,949 \approx 0,95$$

Para los cálculos ver *Tabla 12*. Cálculos del Factor Hora Pico tomados de la Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre av. La rosita la y calle 36. Sentido: sur- norte- miércoles 19 de febrero.

Como el FHMD es cercano a uno lo que quiere decir que en el tiempo en que se realizó la práctica los flujos no variaron de manera significativa

La siguiente grafica muestra el comportamiento de los vehículos que transitan en el sentido Sur- Norte, además de mostrar el VHMD(q15) para poder determinar si existe congestión en el periodo analizado.

En la Figura. No. 12, se ilustra la variación de volumen de transito dentro de la máxima demanda en el intervalo de 15 minutos.

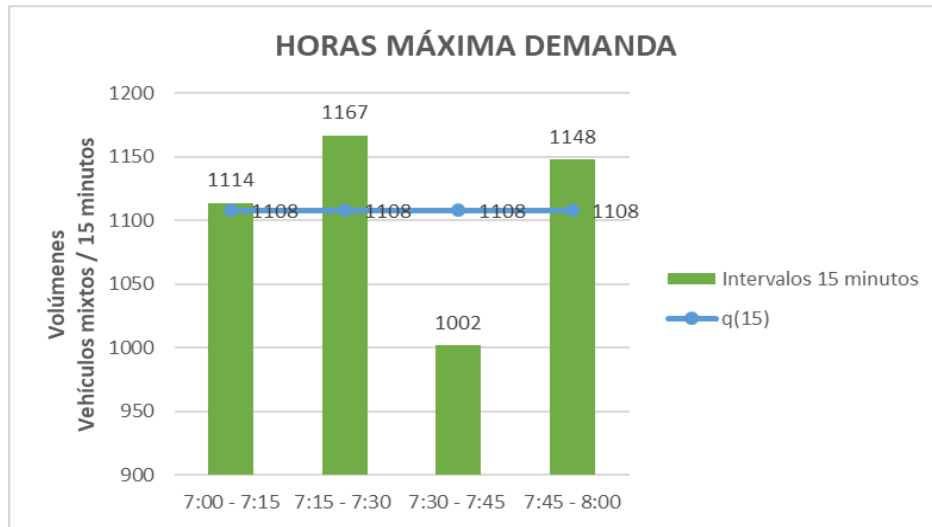


Figura N°. 14. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre av. La rosita y la calle 36. Sentido: sur – norte.

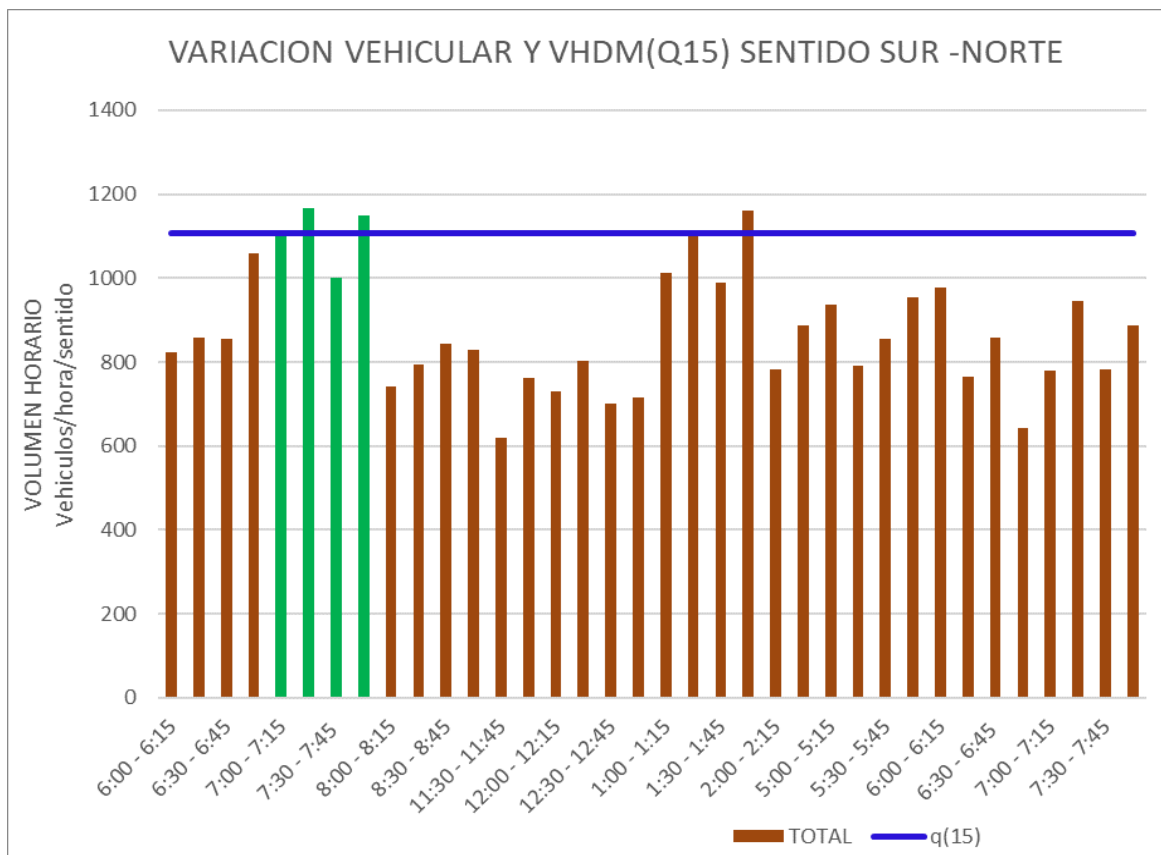


Figura N°. 15. Variación del volumen de tránsito y VHDM(q15) carrera 27 entre av. la rosita y la calle 36. Sentido: sur – norte

De la figura anterior se puede observar, la hora con más volumen de tráfico (identificada con el color verde, 7:00 am – 8:00 am), el VHMD(q15) representado mediante la línea de color azul, además de en qué intervalos de tiempo existe congestión (cuando la barra del intervalo supera la línea azul)

Tabla 13. Cálculos del Factor Hora Pico tomados de la Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre La Calle 36 y av. La rosita. Sentido: norte- sur miércoles 19 de febrero

HORA	TOTAL	VEH/H	Qmax	FHP
6:00 - 6:15	823	3282	991	0,828
6:15 - 6:30	858			
6:30 - 6:45	854			
6:45 - 7:00	1059			
7:00 - 7:15	1114	3428	970	0,884
7:15 - 7:30	1167			
7:30 - 7:45	1002			
7:45 - 8:00	1148			
8:00 - 8:15	743	3331	912	0,913
8:15 - 8:30	793			
8:30 - 8:45	843			
8:45 - 9:00	828			
11:30 - 11:45	621	3233	862	0,938
11:45 - 12:00	762			
12:00 - 12:15	731			
12:15 - 12:30	802			
12:30 - 12:45	701	3442	934	0,921
12:45 - 1:00	717			
1:00 - 1:15	1013			
1:15 - 1:30	1100			
1:30 - 1:45	990	3352	862	0,972
1:45 - 2:00	1161			
2:00 - 2:15	782			
2:15 - 2:30	887			
5:00 - 5:15	938	3205	975	0,822
5:15 - 5:30	792			
5:30 - 5:45	854			
5:45 - 6:00	954			
6:00 - 6:15	976	3712	1108	0,838
6:15 - 6:30	764			
6:30 - 6:45	859			
6:45 - 7:00	643			
7:00 - 7:15	779	3522	968	0,91
7:15 - 7:30	946			
7:30 - 7:45	782			
7:45 - 8:00	887			

En la *Tabla 13* se observa, que la hora de máxima demanda corresponde al periodo entre las 6:00 pm y las 7:00 pm, con un volumen horario de:

$$VHMD = 1108 + 940 + 886 + 778$$

$$VHMD = 3712 \text{ Vehiculos Mixtos/h}$$

$$VHMD(q_{15}) = \frac{VHMD}{4} = \frac{3712}{4} = 928$$

El volumen máximo para periodos de 15 minutos corresponde al de las 6:00 – 6:15 pm, con un valor de 1108 vehículos mixtos. Por lo tanto, el FHMD, de acuerdo con la ecuación (6), es:

$$FHMD_{15} = \frac{3712}{4(1108)} = 0,838 \approx 0,84$$

Como el FHMD es cercano a uno lo que quiere decir que en el tiempo en que se realizó la práctica los flujos vehiculares no variaron de manera significativa.

En general se considera que cuando el flujo horario pico o flujo horario de máxima demanda se encuentra entre los valores típicos [0.85 – 0.95], las condiciones operativas de la vía no varían sustancialmente, lo cual nos indica la uniformidad en los flujos que transitaron en ese tiempo, en la hora de máxima demanda, ya que valores bastante menores que la unidad indican concentraciones de flujos máximos en períodos cortos de la hora.

La siguiente grafica muestra el comportamiento de los vehículos que transitan en el sentido Norte - Sur, además de mostrar el VHMD(q15) para poder determinar si existe congestión en el periodo analizado

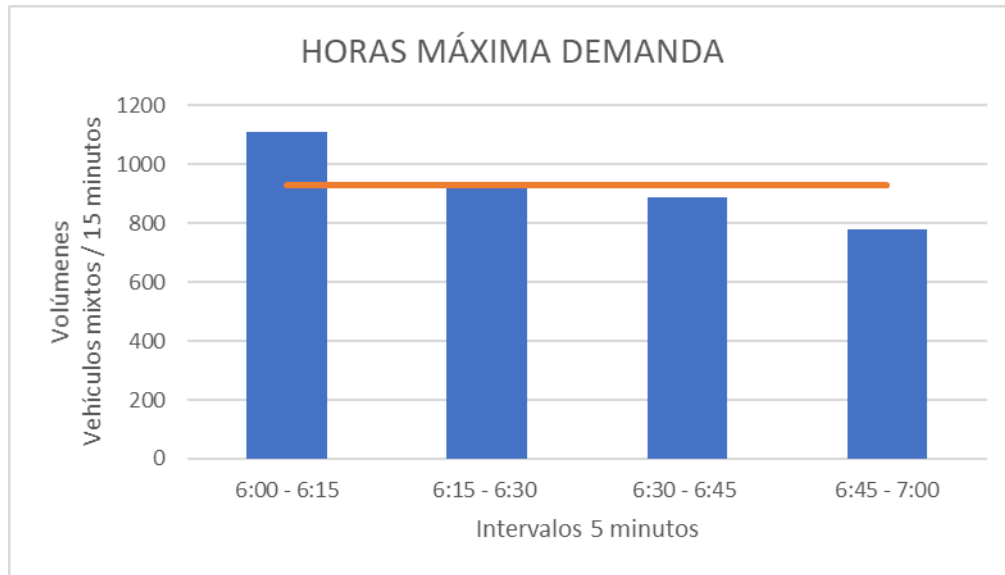


Figura N°. 16. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda carrera 27 entre calle 36 y Av La Rosita. Sentido: norte - sur

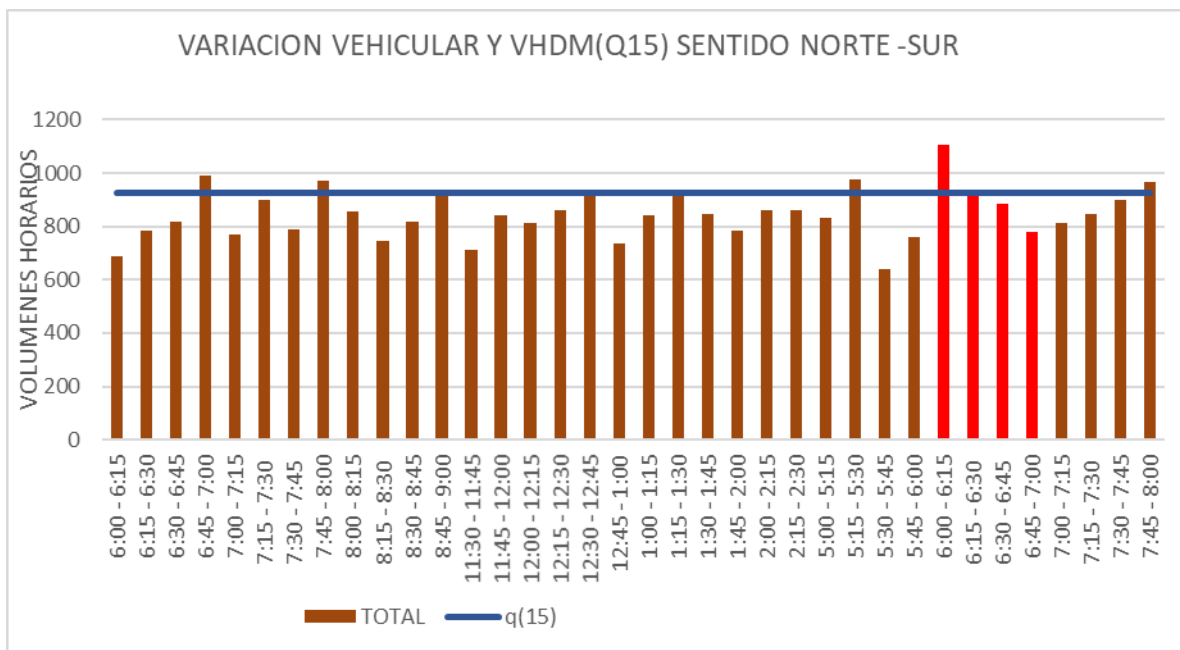


Figura N°. 17. Variación del volumen de tránsito y VHMD(q15) carrera 27 entre la calle 36 y av. La rosita y. Sentido: norte - sur

De la figura anterior se puede observar, la hora con más volumen de tráfico (identificada con el color rojo, 6:00 pm – 7:00 pm), el VHMD(q15) representado mediante la línea de color azul, además de en qué intervalos de tiempo existe congestión (cuando la barra del intervalo supera la línea azul).

4.5. Nivel de servicio por FHMD

Dado que dentro de los objetivos del proyecto está la determinación de NDS mediante la estimación de factores horarios de máxima demanda, la investigación realizada no encontró procedimientos o metodologías que, a partir de los rangos de los FHMD, se pudiesen estimar niveles de servicio. Los factores horarios de máxima demanda cercanos a 1.0 indican flujos más o menos estables y cercanos a 0 indican flujos inestables.

Por esto es preciso dejar muy en claro, que el procedimiento usado en esta investigación no es del todo correcto, aunque da un nivel de aproximación a los resultados de NDS. Y no es totalmente correcto, porque se usó el procedimiento HCM 2000 para una autopista y aunque se sabe que existen autopistas dentro del sistema vial urbano de las ciudades, no propiamente el tramo caracterizado hace parte de una autopista como tal, aunque pueda tener ciertas similitudes a las características de una autopista, en cuanto a flujo vehicular, doble calzada, separador, composición vehicular, carriles y algo de berma.

Los segmentos básicos de autopista que son calificados para obtener los NDS son “Secciones de dos o más carriles por sentido con control total de accesos, que no son afectados ni por movimientos de convergencia o divergencia en rampas de enlace cercanas, ni por maniobras de entrecruzamiento.

Esto indica que el procedimiento realizado por ausencia de metodología, aplicado a este tramo urbano, tiene limitantes por cuanto el segmento analizado, es afectado por movimientos de convergencia y divergencia (entradas y salidas libres) y por maniobras de entrecruzamiento. Además, no cuenta con flujos libres y la presencia de semáforos es una limitante.

Esta experiencia indica que hace falta metodología y estudios en zonas urbanas para la determinación de NDS mediante factores horarios de máxima demanda, aunque hay que dejar en claro que mediante la toma de velocidades tal como lo indica el HCM 2000-2010, si es posible determinar NDS

Profundizar en las limitantes expuestas para resolver la determinación del NDS por medio de los FHMD, hace parte de una tarea de los ingenieros de tránsito.

4.5.1. Procedimiento aproximado

Para este procedimiento se tomó el sentido Sur – Norte, ya que es el sentido donde se tiene el mayor flujo vehicular; aunque se calculó el porcentaje vial y da aproximadamente 50/50, es por esto por lo que para la presente investigación se trabajó con el sentido Sur – Norte.

Tabla 14. *Porcentaje vial por sentido*

SENTIDO	FLUJO VEHICULAR	%
SUR -NORTE	31673	=50,9%
NORTE -SUR	30507	=49,1%
TOTAL	62180	

Tabla 15. *Información geométrica de la vía*

INFORMACION GEOMETRICA VIA	
ANCHO SEPARADOR	1
ANCHO CARRILES	3,5
NUMERO CARRILES	3
PROMEDIO BERMAS	0,5
DENSIDAD PUNTOS DE ACCESO	2
TIPO TERRENO	PLANO

La información de tránsito obtenida en campo se clasifica así:

Tabla 16. Información de tránsito

INFORMACION TRANSITO	
VOLUMEN DE TRANSITO	4431
FACTOR HORA PICO	0,95
PORCENTAJE DE CAMIONES	1,5
TIPO DE CONDUCTOR	FRECUENTE

La velocidad a flujo libre puede estimarse analíticamente utilizando la siguiente ecuación

$$VL = VG - f_C - f_S - f_B - f_A$$

Donde:

VL = Velocidad a flujo libre del sector

VG = Velocidad generica del sector

f_C = correccion por ancho del carril

f_S = correccion por ancho del separador

f_B = correccion por promedio de ancho de bermas

f_A = correccion por densidad de accesos

Luego se tomaron como base los siguientes datos:

Ancho del carril (m)	Corrección a la velocidad genérica por efecto del ancho del carril (km/h)
3.0	14.8
3.3	2.0
≥ 3.5	0.0

Figura N°. 18. Ajuste f_C

Nota 11. Adaptada de: Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril. 2015. Colombia

Ancho del separador (m)	Corrección a la velocidad genérica por efecto del ancho de separador (km/h)
0.0	2.80
0.5	1.60
1.0	1.30
1.5	0.90
2.0	0.70
>3.0	0.00

Figura N°. 19. Ajuste fs

Nota 12. Adaptada de: Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril. 2015. Colombia

Ancho promedio de bermas (m)	Corrección a la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (km/h)
0.0	7.9
0.5	2.5
1.0 - 1.5	1.7
1.8	0.8
>= 2.0	0.0

Figura N°. 20. Ajuste fb

Nota 13. Adaptada de: Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril. 2015. Colombia

Densidad de accesos (Puntos/km)	Corrección a la velocidad genérica por efecto de la densidad de accesos (km/h)
5	3.0
10	6.4
15	11.0
>=20	17.4

Figura N°. 21. Ajuste fa

Nota 14. Adaptada de: Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril. 2015. Colombia

Teniendo en cuenta las especificaciones anteriores, con las especificaciones de la vía, reemplazamos los valores:

$$VL = 70 - 0 - 1,3 - 2,5 - 0 = 66,2 \text{ km/h}$$

Este valor se aproxima a la velocidad de flujo libre de 70 km/h, establecido en el manual de capacidad vial.

Ahora se corrige el volumen de tránsito mixto y se tiene en cuenta el equivalente de camiones.

$$v_p = \frac{V}{FHP * N(f_{HV})(f_p)}$$

Donde

$v_p = \text{Flujo de tránsito}$

$V = \text{Volumen de tránsito mixto}$

$FHP = \text{Factor Hora Pico}$

$f_{HV} = \text{factor de correlación de camiones}$

$f_p = \text{factor de conocimiento de la vía}$

El factor de corrección se calcular así:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1)} \quad f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,015(1,9 - 1)} = 0,9737$$

Donde:

$f_{HV} = \text{factor de corrección por camiones}$

$P_C = \% \text{ camiones}$

$E_C = \text{Equivalente camiones}$

$$v_p = \frac{4431}{0,95 \cdot 3 \cdot 0,9737 \cdot 1} = 1597,87 \approx 1598$$

Las ecuaciones finales adoptadas para los diferentes tipos de vía tienen la formula funcional:

$$v = v_f - a \left(\frac{v_p}{b} \right)^c$$

En donde v es la velocidad a flujo libre y q es el flujo de tránsito en vehículos equivalentes por hora, a, b y c son parámetros para estimar. En el siguiente cuadro se presentan los coeficientes de las ecuaciones para cada tipo de multicarril estudiada. Se resalta que las curvas no presentan un primer tramo horizontal.

Tabla 17. Coeficientes de carreteras de Colombia

vf	a	b	c
96	4.609	1124.526	1.624
90	1.040	882.082	2.545
80	2.375	1036.550	2.044
70	5.497	692.345	1.010

Nota 15. Adaptada de: Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril. 2015. Colombia

$$v = 70 - 5,497 \left(\frac{1598}{692,345} \right)^{1,010} = 57,20$$

Ahora se calcula la densidad:

$$D = \frac{v_P}{v} = \frac{1598}{57,20} = 27,93$$

En las siguientes tablas se presentan los niveles de servicio correspondientes a la relación volumen/capacidad para diferentes tipos de vías multicarril. En cada una de ellas se determina la densidad máxima que define el nivel de servicio.

Tabla 18. Niveles de servicio para carreteras

Tipo de Multicarril															
Multicarril Tipo 1, 96 km/h				Multicarril Tipo 2, 90 km/h				Multicarril Tipo 3, 80 km/h				Multicarril Tipo 4, 70 km/h			
Nivel	q/C	Densidad	Densidad asumida	Nivel	q/C	Densidad	Densidad asumida	Nivel	q/C	Densidad	Densidad asumida	Nivel	q/C	Densidad	Densidad asumida
A	0.25	6.0	6	A	0.25	6.1	6	A	0.25	6.8	7	A	0.25	8.0	8
B	0.45	11.0	11	B	0.45	11.2	11	B	0.45	12.4	12	B	0.45	15.1	15
C	0.65	16.4	16	C	0.65	16.5	17	C	0.65	18.5	18	C	0.65	23.1	23
D	0.85	22.5	22	D	0.85	22.5	23	D	0.85	25.2	25	D	0.85	32.1	32
E	1.00	27.5	28	E	1.00	27.7	28	E	1.00	31.0	31	E	1.00	39.5	40

Nota 16. Adaptada de: Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril. 2015. Colombia

Tabla 19. Niveles de servicio para carreteras multicarril

Nivel de servicio	Multicarril Tipo 1 (96 km/h) y Tipo 2 (90km/h)	Multicarril Tipo 3 (80 km/h)	Multicarril Tipo 4 (70 km/h)
A	<= 6	<= 7	<= 8
B	> 6 - 11	> 7 - 12	> 8 - 15
C	>11 - 16	>12 - 18	>15 - 23
D	> 16 - 22	> 18 - 25	> 23 - 32
E	> 22 - 28	> 25 - 31	> 32 - 40
F	> 28	> 31	> 40

Nota 17. Adaptada de: Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril. 2015. Colombia

Con la densidad encontrada, revisamos en la *tabla 18 – tabla 19* y vemos que el dato se encuentra entre 23 -32 para multicarril tipo 4 que estamos trabajando, es por eso por lo que bajo ese análisis encontramos que el nivel de servicio de este tramo de vía es **TIPO D**.

4.6. Nivel de servicio por VELOCIDADES

Uno de los indicadores que más se usa para medir la eficiencia de un sistema vial es la velocidad de los vehículos. Desde este punto de vista para medir la calidad del movimiento del tránsito se utilizó la velocidad de punto en sus componentes media temporal y media espacial. (Reyes, Grisales y Spíndola, 1998)

Para la tabulación de las velocidades se tomaron los tiempos que duraba un vehículo en recorrer 50 metros; se registró el tiempo de 150 vehículos, en ambos sentidos del tramo vial en estudio, de acuerdo con esta tabulación se obtiene lo siguiente.

El resultado de los estudios de velocidad podría representarse por una sola cifra que indique el valor más representativo de las velocidades de todos los vehículos, como es usual, pero un valor único no indica adecuadamente las diversas magnitudes que pueden revelar un estudio sobre velocidades.

Es conveniente, por lo tanto, hacer un análisis estadístico de los datos tomados, mediante el siguiente procedimiento:

- Se ordena, en forma creciente, el registro de los tiempos de recorrido de los vehículos, representados por 1. La diferencia entre el valor superior L_s y el inferior L_i de los tiempos de recorrido es el rango R .
- El número total de observaciones es n .
- Se determina el número de intervalos m mediante la siguiente expresión: $m = 1 + 3.31 \log(n)$.
- La magnitud del intervalo e se calcula como: $e = R / m$.

- Los límites de cada intervalo se calculan sumando al valor inferior (l_j) la magnitud del intervalo c .
- Con los tiempos de recorrido de cada intervalo se calculan las velocidades representadas por x_s y para cada intervalo se halla un valor medio de la velocidad, como $v_i = (x_i + x_s)/2$. (Montoya, G, 2005).

4.6.1. Velocidades Sur – Norte

A continuación, se muestran los datos de velocidades obtenidos y el número de vehículos detectados con dicha velocidad.

Velocidad promedio = 40.539 km/h

Tabla 20. Velocidades sur - norte

Vel min	16,48
Vel máx.	79,65
Rango	63,17
No intervalos	9
Paso	7,02
N	150

Tabla 21. Distribución de frecuencias, sur norte

Número de intervalos	Intervalo de clase grupos de velocidad		Punto Medio v_i (Km/hora)	Frecuencia Observada		Frecuencia Acumulada		V_i^2	V_i^2 frecuencia	$f_{i \cdot v_i^2}$
	Km/h			Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa			
				Fi	$(f_i/n) \cdot 100$	Fia	$(fia/n) \cdot 100$			
1	16,48	23,50	20	1	0,667	1	1	400	20	400
2	23,50	30,52	27	15	10,000	16	11	729	405	10935
3	30,52	37,54	34	48	32,000	64	43	1156	1632	55488
4	37,54	44,56	41	39	26,000	103	69	1681	1599	65559
5	44,56	51,58	48	30	20,000	133	89	2304	1440	69120
6	51,58	58,60	55	13	8,667	146	97	3025	715	39325
7	58,60	65,62	62	1	0,667	147	98	3844	62	3844
8	65,62	72,64	69	2	1,333	149	99	4761	138	9522
9	72,64	79,66	76	1	0,667	150	100	5776	76	5776

Para el análisis de frecuencia, fue necesario establecer los intervalos de clase con su respectivo punto medio y estimar la frecuencia observada (absoluta y relativa) y la frecuencia acumulada (absoluta y relativa).

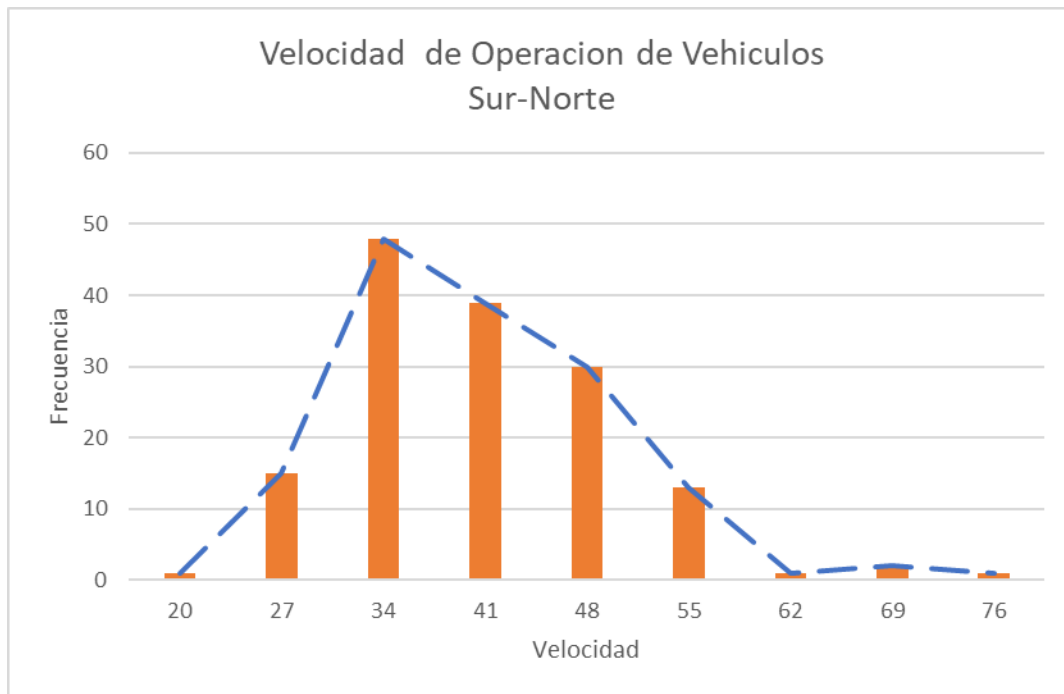


Figura N°. 22. Histograma y polígono de frecuencias de velocidades punto

Por medio de la gráfica de frecuencia acumulada relativa vs velocidades, se puede estimar la velocidad de proyecto por medio de los percentiles.

4.6.1.1. Cálculo de la velocidad media de punto

La velocidad media de punto es la velocidad esperada de cualquier vehículo al azar en el tramo desde el tramo vial carrera 27 entre av. La rosita y la calle 36. Sentido: sur – norte.

$$\text{Velocidad media de punto} = \left(\frac{\sum f_i X v_i}{n} \right)$$

$$\text{Velocidad media de punto} = \left(\frac{6087}{150} \right)$$

$$\text{Velocidad media de punto} = 40,58 \text{ km/h}$$

Esta velocidad es similar a la velocidad promedio del flujo libre de los datos tomados en campo, que da un valor de 40.539 km/h.

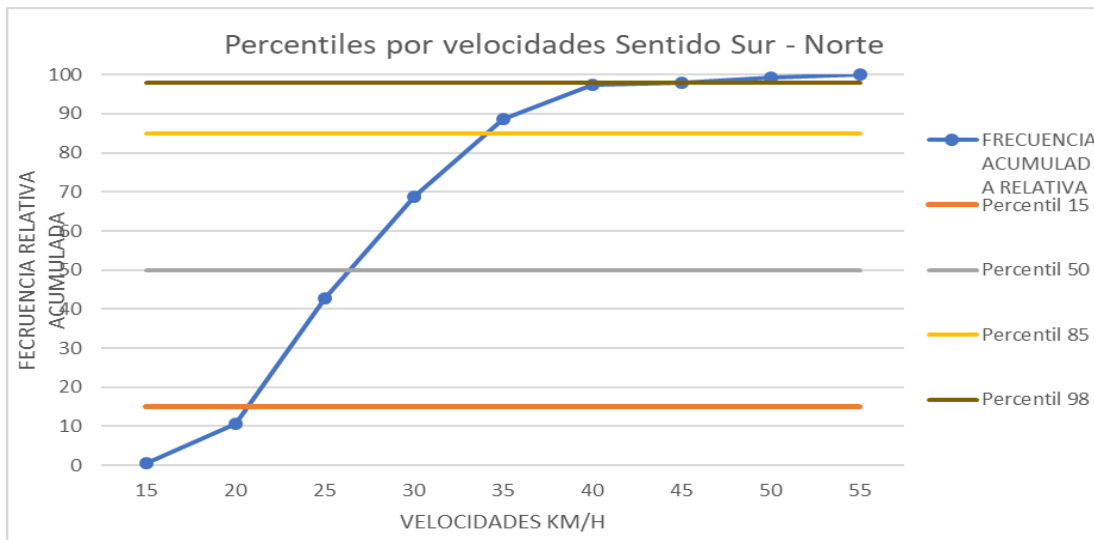


Figura N°. 23. Percentiles de velocidad

- Límite inferior de velocidad (P15): 31,58 km/h.
- Velocidad de medida de calidad del flujo vehicular (P50): 38,66 km/h.
- Velocidad crítica (P85): 46,49,03 km/h.
- Velocidad de proyecto (P98): 58,673 km/h.

4.6.2. Velocidades Norte – Sur

A continuación, se muestran los datos de velocidades obtenidos y el número de vehículos detectados con dicha velocidad.

Velocidad promedio = 32.9288 km/h

Tabla 22. Velocidades norte sur

Vel min	12.76
Vel máx.	56.96
Rango	44.20
No intervalos	9
Paso	4.911
N	150

Tabla 23. Distribución de frecuencias, norte sur

Número de intervalos	Intervalo de clase grupos de velocidad		Punto Medio vi (Km/hora)	Frecuencia Observada		Frecuencia Acumulada		VI ²	V ⁱ *frecuencia	f _i v _i ²
	Km/h			Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa			
			fi	(fi/n)*100	fia	(fia/n)*100				
1	12,76	17,67	15	2	1,333	2	1	225,00	30	450
2	17,67	22,58	20	8	5,333	10	7	400	160	3200
3	22,58	27,49	25	24	16,000	34	23	625	600	15000
4	27,49	32,40	30	39	26,000	73	49	900	1170	35100
5	32,40	37,32	35	41	27,333	114	76	1225	1435	50225
6	37,32	42,23	40	24	16,000	138	92	1600	960	38400
7	42,23	47,14	45	5	3,333	143	95	2025	225	10125
8	47,14	52,05	50	4	2,667	147	98	2500	200	10000
9	52,05	56,97	55	3	2,000	150	100	3025	165	9075

Para el análisis de frecuencia, fue necesario establecer los intervalos de clase con su respectivo punto medio y estimar la frecuencia observada (absoluta y relativa) y la frecuencia acumulada (absoluta y relativa).

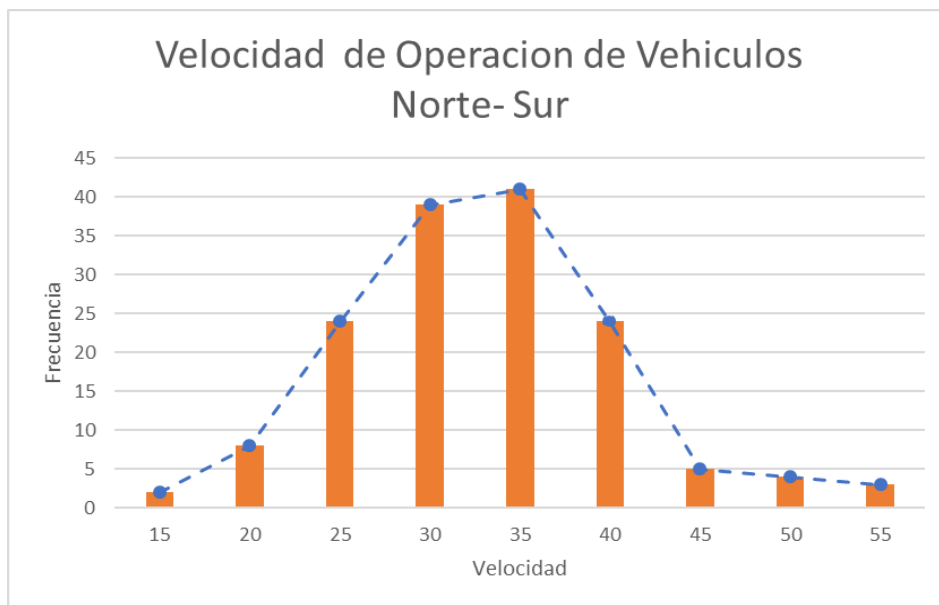


Figura N°. 24. Histograma y polígono de frecuencias de velocidades punto

4.6.2.1. Cálculo de la velocidad media de punto

La velocidad media de punto es la velocidad esperada de cualquier vehículo al azar en el tramo desde el tramo vial carrera 27 entre av. La rosita y la calle 36. Sentido: norte - sur

$$\text{Velocidad media de punto} = \left(\frac{\sum f_i \times v_i}{n} \right)$$

$$\text{Velocidad media de punto} = \left(\frac{4945}{150} \right)$$

$$\text{Velocidad media de punto} = 32.95 \text{ km/h}$$

Esta velocidad es similar a la velocidad promedio del flujo libre de los datos tomados en campo, que da un valor de 32.928 km/h.

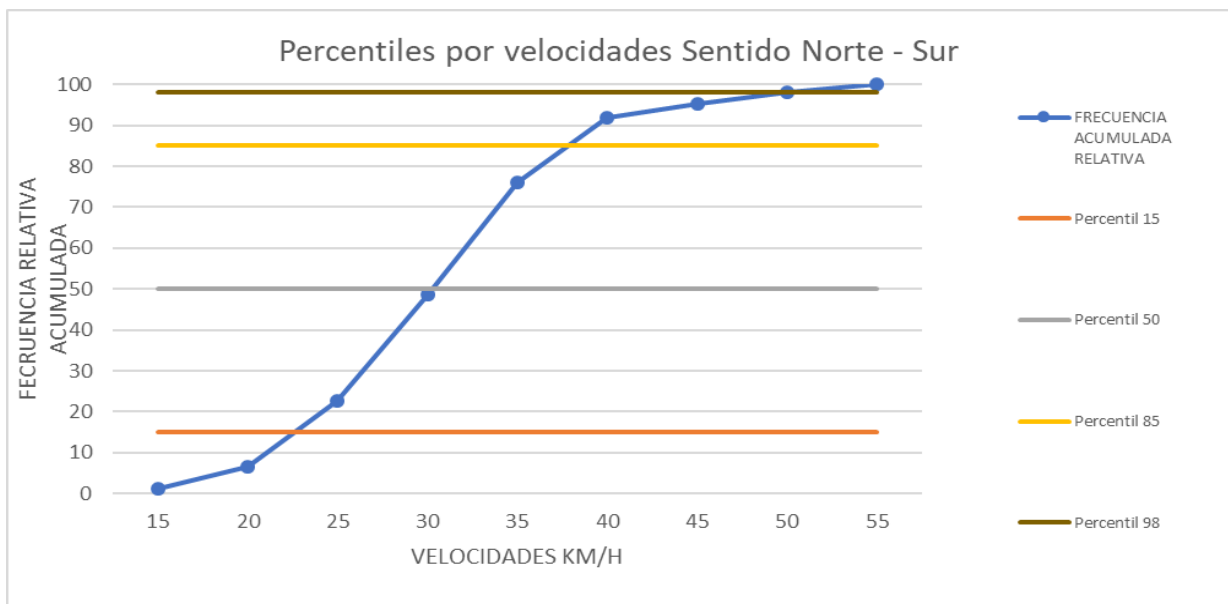


Figura N°. 25. Percentiles de velocidad norte sur

- Límite inferior de velocidad (P15): 25.29 km/h.
- Velocidad de medida de calidad del flujo vehicular (P50): 32.29 km/h.
- Velocidad crítica (P85): 38.03 km/h.
- Velocidad de proyecto (P98): 47.33 km/h.

Para cálculos del nivel de servicio se tomarán las velocidades y los datos del sentido sur norte:

Velocidad media de punto

$$\bar{v}_t = \left(\frac{\sum f_i X v_i}{n} \right)$$

$$\bar{v}_t = \left(\frac{6087}{150} \right) = 40,58 \text{ km/h}$$

Debido a que no todos los vehículos viajan a la misma velocidad, existe una dispersión de sus velocidades alrededor de la media, una medida estadística de esta dispersión es la desviación estándar S, la cual por definición se expresa como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f_i v_i^2) - \frac{[\sum_{i=1}^m f_i v_i]^2}{n}}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{259969 - \frac{6087^2}{150}}{150 - 1}}$$

$$S = 9,325 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Al calcular la desviación estándar se supone que la forma que siguen los datos es aproximadamente, la de una distribución normal como la que se muestra en la siguiente figura.

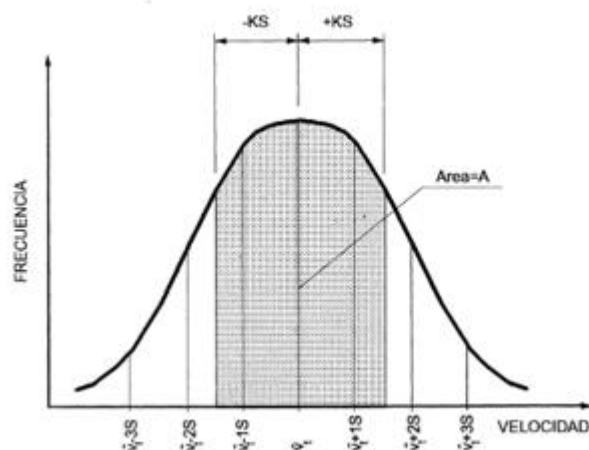


Figura N°. 26. Distribución normal - niveles de confiabilidad
Nota 18. Adaptado de: Cal, R., Reyes M, Cárdenas, J. (2007).

En general, A es el área entre $\bar{v}_t \pm KS$,

Donde:

K=desviaciones estándar correspondientes al nivel de confiabilidad deseado)

A=Área bajo al curva normal o nivel de confiabilidad

Tabla 24. Valores de k

Constante k	Nivel de confiabilidad
1.00	68.3
1.50	89.6
1.64	90.0
1.96	95.0
2.00	95.5
2.50	98.8
2.58	99.0
3.00	99.7

Nota 19. Adaptada de: Cal, R., Reyes M, Cárdenas, J. (2007).

Calculamos el error estándar que indica la confianza con la cual puede suponerse que la media de la muestra corresponda a la media verdadera de la población, o de todo el transito que pasa por el pinto durante el periodo en estudio, y su valor se determina mediante la siguiente formula:

$$E = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$E = \frac{9,325}{\sqrt{150}}$$

$$E = 0,761 \text{ km/h}$$

Entonces, se puede plantear que, para determinado nivel de confiabilidad, la velocidad media verdadera de todo transito está dentro del intervalo definido por:

$$\bar{v}_t \pm KE$$

Donde:

μ = velocidad media verdadera de todo el transito

Por lo tanto, puede decirse con el 95,5% de confianza, que la velocidad media verdadera para todo el transito está comprendida entre el intervalo, para este intervalo según la tabla tiene un valor de, es $K = 2$.

$$\begin{aligned} \bar{v}_t \pm KE &= 40,58 \pm 2(0,761) \\ &= 40,58 \pm 1,522 \text{ km/h} \end{aligned}$$

Esto puede concluir que existe una posibilidad de 4.5% que al estimar la velocidad media verdadera de 40,58 km/hora, el error máximo sea de 1,52 km/h

Teniendo en cuenta que los valores calculados de la velocidad media de punto revisamos la velocidad en las tablas del libro Ingeniería de tránsito. (Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J, 2007).

La velocidad de operación encontrada es aproximadamente 36.07km/hora esta se encuentra como **NIVEL DE SERVICIO D**.

Tabla 25. Niveles de servicio

Niveles de servicio	Condiciones del flujo de tráfico		Relación				Volumen servicio máximo bajo condiciones ideales con velocidad promedio de 110 Km.h (automóviles p/h en una dirección)		
			Volumen de servicio Capacidad (F/C)		Velocidad de proyecto de		Km.h (automóviles p/h en una dirección)		
	Descripción	Velocidad de operación (Km.h)	Valor límite para velocidad de proyecto de 110 Km.h	4 carriles (2 carriles en una dirección)	95 Km.h	80 Km.h	6 carriles (3 carriles en una dirección)	Cada carril adicional	
A	Flujo libre	> 95	< 0.30	-	-	1200	1800	600	
B	Flujo estable (alta velocidad)	> 90	< 0.50	< 0.20	-	2000	3000	1000	
C	Flujo estable	> 70	< 0.75	< 0.50	< 0.25	3000	4500	1500	
D	Acerciándose al flujo inestable	> 55	< 0.90	< 0.85	< 0.70	3600	5400	1800	
E	Flujo inestable	50	-	< 1.00	-	6000	4000	2000	
F	Flujo forzado	< 50	-	-	-	Variable (0 a capacidad)	Variable (0 a capacidad)	Variable (0 a capacidad)	

Fuente: Ingeniería de Tránsito - Rafael Cal y Mayor, I.C. LT

Nota 20. Adaptada de: Cal, R., Reyes M, Cárdenas, J. (2007).

Tabla 26. Resultados

NIVEL DE SERVICIO	
PROCEDIMIENTO	TIPO DE NIVEL
FHMD	D
VELOCIDADES	D

Otra forma de calcular el NDS por el método de las velocidades, es usando el HCM 2000-2010).

Consiste en determinar un promedio de velocidades en el tramo y verificar con la tabla 15.2 HCM 2000 a que NDS pertenece. En el presente estudio se ha usado el método de velocidades de punto que propiamente es para carreteras pero que se usó para observar el comportamiento de 4 tipos de velocidades en vías urbanas.

CLASIFICACION	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

Figura N°. 27. Niveles de servicio para clasificación de vías urbanas
 Nota 21. Adaptada de: Highway Capacity Manual. (HCM 2000).

Tabla 27. Resultado final

NIVEL DE SERVICIO	
PROCEDIMIENTO	TIPO DE NIVEL
FHMD	D
VELOCIDADES	D
VELOCIDADES HCM2000	C

Teniendo en cuenta lo anterior, y que la vía de la carrera 27 es una vía urbana, catalogada en clasificación IV, se toma el promedio de las velocidades encontrados en el tramo vial, dando un resultado de 32.2 km/h, aproximadamente 32.00 km/h: finalmente se observa en la figura 34, que el nivel de servicio arroja **TIPO C**.

5. Conclusiones

Dado que las metodologías aplicadas proporcionan un análisis aproximado de la capacidad y nivel de servicio, estos resultados pueden ser usados para evaluar las demandas de tráfico y los planes de semaforización de la vía con el fin de que estos sean ajustados a la realidad de los niveles de servicio.

El comportamiento vial del tramo analizado se describe cualitativamente estable, ya que la vía se encuentra en buen estado, no es un sector comercial donde los conductores deban estar realizando paradas y finalmente es una vía llana.

A partir de la toma de información en campo en el tramo vial de la carrera 27 entre La Avenida La Rosita y La Calle 36, en la ciudad de Bucaramanga, se obtuvo un tránsito total de vehículos mixtos de 31.673 en sentido sur norte y para el sentido norte sur 30.507 vehículos mixtos, dando así una distribución vial de 50/50 para cada carril, es decir, que el volumen vehicular es constante en ambos carriles. Adicional se obtuvo un volumen horario de máxima demanda en sentido sur – norte de 4.431 veh/hora en la franja horaria de 7:00 am a 8:00 am, esto debido a que Bucaramanga es una zona industrial, comercial y la gente se desplaza desde distintos lugares hacia su sitio de trabajo. En el sentido norte – sur, se obtuvo un volumen horario de máxima demanda de 3.712 veh/hora, en la franja horaria de 6:00 pm a 7:00 pm, esto se efectúa por el desplazamiento de las personas hacia su casa, luego de terminado el horario laboral.

En general, se considera que cuando el flujo horario pico o flujo horario de máxima demanda se encuentra entre los valores típicos entre [0.85 – 0.95], las condiciones operativas de la vía no varían sustancialmente, lo cual nos indica la uniformidad en los flujos que transitaron en ese tiempo, en la hora de máxima demanda.

El factor horario de máxima demanda para el sentido sur – norte tiene un valor de 0.95 y para el sentido norte – sur un valor de 0.84, esos valores muestran que no hay congestión, puesto que valores bastante menores a la unidad (1.0) indican concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora de máxima demanda; como las cifras se acercan a 1.0, esto indica que no hay un congestión como tal, aunque los vehículos no rueden a flujo libre.

Las velocidades medias de punto calculadas según la estimación y los aportes del libro de ingeniería de tránsito de (Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J, 2007), se asemejan a las velocidades calculadas en el Plan Maestro de Movilidad del Área Metropolitana de Bucaramanga, donde inicialmente su velocidad de diseño era de 60 km/h, pasando a ser actualmente de 40 km/h. Tomando como referencia para el cálculo de esta velocidad, se usó el carril sur norte, dando un valor aproximado de 40.58 km/h. A su vez, calculando el percentil de velocidad (50), este también tiene un valor similar, el cual es de 38.66 km/h.

La composición vehicular de la vía en ambos carriles presenta mayor porcentaje en horas pico para vehículos livianos, principalmente particulares motos.

Comparando los métodos usados para el cálculo de los niveles de servicio de la vía, mediante factores horarios de máxima demanda y velocidades de operación, no se encuentran diferencias sustanciales, pues el nivel de servicio en ambos casos da como resultado NIVEL DE SERVICIO TIPO D; pero se evidencia que por medio del método estipulado en el HCM 2.000, empleando solo velocidades promedios, se obtiene un NIVEL DE SERVICIO TIPO C, ya que no se tienen en cuenta muchos factores, como demoras, interrupciones ajenas a la corriente de tráfico, sino que se toma un valor N de velocidades. Esto debido a los controles pertinentes del no rebase de la velocidad límite para el tránsito en la ciudad.

Uno de los principales factores con los que se ve afectada esta vía, es la ausencia de bahías para el descenso y ascenso de pasajeros, lo que genera que los buses de servicio público realicen paradas en el tramo vial que no cuenta con un diseño adecuado para dicho servicio, esto dificulta el tránsito en las horas de mayor demanda, generando demoras y dificultades de maniobras de rebase.

La investigación desarrollada para la elaboración del presente trabajo, además de presentar los resultados de evaluación de los NDS de la infraestructura vial, expone de forma evidente que la manera de aplicar una metodología de análisis aun partiendo de los mismos datos puede llevar a resultados diferentes que son tomados como válidos para la toma de decisiones.

La investigación realizada con este proyecto deja como lección que no se cuenta con herramientas claras y precisas para obtener NDS por método colombiano, ya que el manual de capacidad colombiano es solo para vías rurales.

Referencias bibliográficas

Alcaldía de Bucaramanga. (2008). *Decreto número 078*. Plan de ordenamiento territorial del municipio de Bucaramanga.

Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB). (2011). *Plan Maestro de Movilidad, Área Metropolitana de Bucaramanga 2011-2030*. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Civil, Geomática, gestión y optimización de sistemas. Colombia.

Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones*. México: 8ª. Edición. Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V

División, Tránsito. *Vialidad Nacional, metodología, capacidad y nivel de servicio*. Recuperado de: http://transito.vialidad.gov.ar:8080/web_ns/metodologia.jsp

García, A. (1991). *Estudios de Ingeniería de Tránsito para la planeación regional del transporte de carretera*.

García, A, Parrado, A. (2017). *Propuesta de un diseño geométrico vial para el mejoramiento de la movilidad en un sector periférico del occidente de Bogotá*. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá.

Ingeniería, Real. (2020). *Relación entre el volumen horario de proyecto y el tránsito*. Recuperado de: <https://ingenieriareal.com/relacion-entre-el-volumen-horario-de-proyecto-vhp-y-el-transito-promedio-diario-anual-tpda/>

Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Ministerio de Transporte. (2015). *Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril*. Colombia

Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Colombia.

Palma, R. (2006). *Aplicación del manual de capacidad de carreteras (HCM) versión 2.000, para la evaluación del nivel de servicio de carreteras de dos carriles*. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos. Guatemala.

Reyes, R, Grisales, J y Spíndola. (1998). *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones*. México. Alfaomega.

Transportation Research Board. National Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual. (HCM 2000)*. United States of América.

Universidad Nacional Autónoma de México. (UNAM). *Análisis de capacidad y nivel de servicio de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo con el manual de capacidad de carreteras HCM 2.000 aplicando MathCad*. México.