

Determinación y comparación de niveles de servicio por medio de los factores horarios de máxima demanda, la velocidad de operación vehicular y los manuales de capacidad vial hcm 2000 y 2010, mediante tres muestras de datos históricos de volúmenes de tránsito en el sector de la meseta de Bucaramanga.

Litzy Xamara Jimenez Velandia

Trabajo de Grado Para Optar El título de Ingeniera Civil.

Director

Luis David Arévalo Durán

Esp. En Ingeniería del Transito y del Transporte.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil.

Bucaramanga

2021

### **Dedicatoria**

A mi padre Jorge Enrique Jiménez Silva quien me motivo día a día a ser una mujer pensante y crítica ante los problemas de la sociedad.

A la ciudad de Bucaramanga por inspirarme a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

A la Universidad Industrial de Santander por ser mi segundo hogar y por permitirme tener el privilegio de investigar junto a grandes docentes.

A mi director de proyecto Luis David Arévalo por su orientación y dedicación a la investigación.

Al Dios del universo por ser mi fortaleza e iluminación ante cada dificultad.

### **Agradecimientos**

A mi padre Jorge Enrique Jiménez Silva por enseñarme el gran valor del conocimiento, por su esfuerzo y dedicación para llevar a cabo la carrera universitaria y por la motivación día a día para salir adelante.

A mi madre Martha Jiménez Silva quien me permitió tener una familia con valores y principios y me enseñó la importancia de la fortaleza en la vida.

A mi madre Magdalena Velandia Lizarazo por la vida y por enseñarme el amor por lo desconocido.

A mis hermanas Mayra, Johana y Viviana por ser mi ejemplo a seguir.

A mis familiares y amigos que me acompañaron en este camino y creyeron fuertemente en mis habilidades.

Al Dios del Universo por permitirme encontrar el camino hacia la verdad y la luz.

**Tabla de contenido**

Introducción.	15
1. Objetivos	17
1.1. Objetivo General	17
1.2. Objetivos Específicos	17
2. Metodología	18
3. Marco Teórico.	20
3.1. Factores Horarios de Máxima Demanda	20
3.2. Velocidad.	21
3.2.1. Velocidad de punto.	22
3.3. Capacidad Vial.	22
3.4. Niveles de Servicio.	22
3.4.1 Nivel de servicio A.	23
3.4.2 Nivel de servicio B.	24
3.4.3 Nivel de servicio C.	25
3.4.4 Nivel de servicio D.	26
3.4.5 Nivel de servicio E	27
3.4.6 Nivel de servicio F.	28
3.5. Hcm 2000 y 2010.	29
3.5.1. Highway Capacity Manual HCM.	30

3.5.2 Versión HCM 2000	31
3.6. Aplicación del HCM.	31
3.6.1. Análisis de circulación.	31
3.6.2.. Diseño o proyecto.	32
3.6.3. Planeación.	32
4. Determinación de NDS por medio del HCM 2000 y 2010.	33
4.1. Tramo vial de la carrera 27 entre avenida la rosita y la calle 36.	34
4.1.1. composición vehicular.	35
4.1.2. Factor Horario de Máxima Demanda (FHMD). Tramo 1, carrera 27.	37
4.1.3. NDS por medio de la Densidad HCM2000. Tramo 1 carrera 27.	40
4.1.4. NDS por medio de la densidad HCM 2010. Tramo 1 carrera 27.	49
4.1.5. NDS por Velocidad para el tramo 1 de la carrera 27.	55
4.2. Tramo vial de la calle 52 entre carrera 34 y carrera 33, Cabecera	60
4.2.1 Composición Vehicular.	61
4.2.2 Factor Horario de Máxima Demanda.	62
4.2.3. NDS por Velocidades en el tramo 2 de cabecera.	65
4.3. Tramo vial de Diagonal 15 entre la calle 55 y la calle 56.	70
4.3.1 Composición Vehicular	71
4.3.2 Factor Horario de Máxima Demanda tramo 3 diagonal 15.	72
4.3.3. NDS por Velocidades tramo 3, diagonal 15	75
5. Resultados	81

6. Conclusiones	88
7. Recomendaciones	91
Referencias.	93
Apéndices	95

**Lista de Tablas.**

Tabla 1. Tramos para la determinación de NDS. _____	33
Tabla 2. Composición Vehicular Sentido Sur-Norte, tramo 1.. _____	36
Tabla 3. Flujo Vehicular Tramo 1. _____	41
Tabla 4. Ajuste fc. _____	42
Tabla 5. Ajuste Fs. _____	42
Tabla 6. Ajuste Fb. _____	43
Tabla 7. Ajuste fa. _____	43
Tabla 8. Factores de vehículos equivalentes. _____	46
Tabla 9. Nivele de servicio para autopistas. _____	48
Tabla 10. Ajuste flw. _____	50
Tabla 11. Ajuste fcl. _____	50
Tabla 12. factores de ajuste vehicular equivalentes. _____	52
Tabla 13. Nivel de Servicio para autopistas. _____	54
Tabla 14. Velocidades Sur-Norte. _____	55
Tabla 15. Distribución de frecuencia Sur-Norte. _____	56
Tabla 16. Distribución de frecuencia Sur-Norte. _____	56
Tabla 17. Niveles de Servicio según Rango de Velocidad. _____	59
Tabla 18. Volumen horario en cada estación. _____	63
Tabla 19. Velocidades Calle 52 entre carrera 34 y carrera 33. _____	65
Tabla 20. Distribución de frecuencia Calle 52 entre carrera 33 y carrera 34. _____	66
Tabla 21. Distribución de frecuencia Calle 52 entre carrera 33 y carrera 34. _____	66

Tabla 22. Histograma y polígono de frecuencias de velocidades punto. _____	67
Tabla 23. Niveles de servicio. _____	69
Tabla 24. VHMD en la estación 1, diagonal 15 entre calle 55 y 56. _____	73
Tabla 25. Velocidades Diagonal 15 entre calle 55 y 56. _____	75
Tabla 26. Distribución de frecuencia Calle 52 entre carrera 33 y carrera 34. _____	76
Tabla 27. Distribución de frecuencia diagonal 15 entre calle 55 y calle 56. _____	76
Tabla 28. Niveles de servicio rangos de velocidad HCM 2000. _____	79
Tabla 29. Rangos de velocidades según la zona y la población de las ciudades _____	63
Tabla 30. Tabla de Resultados del FHMD y Velocidad media _____	64
Tabla 31. Tabla comparativa de FHMD y la Velocidad _____	75
Tabla32.Comparacion del NDS por FHMD y Velocidad _____	76
Tabla 33. FHMD y la Velocidad promedio _____	77

**Lista de Figura**

Figura 1. Nivel de servicio A _____	24
Figura 2. Nivel de Servicio B. _____	25
Figura 3. Nivel de Servicio C. _____	26
Figura 4. Nivel de servicio D. _____	27
Figura 5. Nivel de servicio E. _____	28
Figura 6. Nivel de servicio F _____	29
Figura 7. Ubicación del tramo vial, tramo 1. _____	35
Figura 8. Composición Vehicular Sentido Sur-Norte, tramo 1. _____	36
<i>Figura 9. Variación del volumen de tránsito y VHMD (q15), tramo 1. _____</i>	<i>39</i>
Figura 10. Grafica de velocidad media vs tasa de flujo. _____	47
Figura 11. Grafica de velocidad media vs tasa de flujo. _____	53
Figura 12. Histograma y polígono de frecuencias de velocidades punto. _____	57
Figura 13. Percentiles de velocidad, Sur-Norte. _____	58
Figura 14. Ubicación del tramo vial, tramo 2. _____	61
Figura 15. Composición vehicular, calle 52 entre carrera 34 y 33. _____	62
Figura 16. Flujo máximo en la estación 5 analizada. _____	64
Figura 18. Percentiles de velocidad, Calle 52 entre carrera 34 y carrera 33. _____	68
Figura 19. Ubicación del tramo vial, entre del tramo 3. _____	71
Figura 20. Composición Vehicular, del tramo 3. _____	72
Figura 21. Flujo máximo Diagonal 15 entre 55 y 56 _____	74
Figura 22. Histograma y polígono de frecuencias de velocidades punto. _____	77

Figura 23. Percentiles de velocidad, Diagonal 15 entre calle 55 y 56. _____	78
Figura 24. Relación Grafica de la velocidad con el FHMD . _____	86
Figura 25. Comparación visual de la capacidad de nivel de servicio tramo2. _____	86
Figura 26. Comparación visual de la capacidad de nivel de servicio del tramo 3. _____	87

**Lista de Apéndices.**

Apéndice A. Hojas de Cálculo de la velocidad para los tres tramos viales escogidos. \_\_\_\_ 95

Apéndice B. Artículos de los tres proyectos tomados para la elaboración de este proyecto.

\_\_\_\_\_ 95

### **Glosario**

**Capacidad Vial:** Máximo número de vehículos que puede circular, por un punto o tramo uniforme de la vía en dos sentidos durante cierto periodo de tiempo, en las condiciones imperantes de vía y de tránsito.

**Congestión:** Acumulación de algún elemento, generando un proceso que provoca una obstrucción o un bloqueo que dificulta la circulación o el paso de algo.

**Niveles de servicio:** Es la asignación en función de la relación real que tardan los vehículos en completar una fase en cierto tiempo de referencia.

**Velocidad de Operación:** Es la velocidad promedio que desarrolla el 85% de los usuarios en un tramo determinado de la vía.

## Resumen

**Título:** determinación y comparación de niveles de servicio por medio de los factores horarios de máxima demanda, la velocidad de operación vehicular y los manuales de capacidad vial Hcm 2000 y 2010, mediante tres muestras de datos históricos de volúmenes de tránsito en el sector de la meseta de Bucaramanga.\*

**Autor:** Litzy Xamara Jiménez Velandia<sup>1\*\*</sup>

**Palabras Clave:** Nivel de servicio, capacidad vial, HCM 2000 y 2010, aforo, topográficas

**Descripción:** La movilidad de la ciudad de Bucaramanga, Santander, Colombia, se está viendo afectada hoy en día en sus diferentes zonas y vías principales, en gran parte por la falta de cultura vial y por la mala capacidad vial que tienen las vías en la meseta de Bucaramanga, ocasionándole a los ciudadanos aumento en el tiempo de recorrido, mala seguridad vial entre otros factores importantes para una excelente movilidad, esto conlleva a indagar sobre los análisis, estudios, y tipos de soluciones que hay para cada uno de los Niveles de Servicio (NDS) y si realmente se adaptan para las condiciones topográficas, sociales, culturales y políticas que vive día a día la ciudad de Bucaramanga. En la actualidad la capacidad vial en Colombia es analizada por medio del manual de capacidad vial HCM (High Capacity Manual), en este proyecto se estudiara los niveles de servicio utilizando sus dos últimas actualizaciones, HCM 2000 y 2010, con el fin de comparar y verificar la veracidad del manual y la adaptación del mismo en las diferentes zonas de la ciudad de Bucaramanga, para esto se tuvo en cuenta el aforo en sectores como Cabecera de Llano, el tramo de la carrera 27 entre av. La rosita y la calle 36 y los alrededores del C.C. San Andresito la Isla, tomados de proyectos de grado actualmente presentados y aprobados de la Universidad Industrial de Santander.

---

\* Trabajo De Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Duran. Especialista en Tránsito y Transporte.

### Abstract

**Title:** determinación y comparación de niveles de servicio por medio de los factores horarios de máxima demanda, la velocidad de operación vehicular y los manuales de capacidad vial Hcm 2000 y 2010, mediante tres muestras de datos históricos de volúmenes de tránsito en el sector de la meseta de Bucaramanga.\*

**Author:** Litzy Xamara Jiménez Velandia.\*\*

**Key Word:** Service level, road capacity, HCM 2000 and 2010, capacity, topographic.

**Description:** The mobility of the city of Bucaramanga, Santander, Colombia, is being affected today in its different areas and main roads, largely due to the lack of road culture and the poor road capacity of the roads in the plateau of Bucaramanga, causing citizens an increase in travel time, poor road safety among other important factors for excellent mobility, this leads to inquire about the analyzes, studies, and types of solutions that exist for each of the Service Levels ( NDS) and if they really adapt to the topographic, social, cultural and political conditions that the city of Bucaramanga experiences every day. Currently, the road capacity in Colombia is analyzed through the HCM (High Capacity Manual) road capacity manual, in this project the service levels will be studied using its last two updates, HCM 2000 and 2010, in order to compare and verify the veracity of the manual and its adaptation in the different areas of the city of Bucaramanga, for this the capacity in sectors such as Cabecera de Llano, the section of Carrera 27 between av. La Rosita and Calle 36 and the surroundings of C.C. San Andresito la Isla, taken from degree projects currently presented and approved by the Industrial University of Santander.

---

\* Degree Work

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Duran. Esp. en Tránsito y Transporte.

### **Introducción.**

La problemática de la congestión vehicular en la ciudad de Bucaramanga ha ocasionado polémica diariamente en los diversos medio de comunicación sobre los posibles causales de la poca movilidad y la reacción de la sociedad ante la misma; es por esto que algunos expertos han opinado sobre posibles soluciones a corto, mediano y largo plazo, a la congestión vial, con ideas de alto costo como la ampliación de la carretera antigua, construcción de troncales, conexiones entre vías y prolongación de algunas otras, así mismo también se idealizan soluciones de bajo costo las cuales se enfatizan en la implementación de cultura vial y la mejor eficiencia en el uso de transporte público.

Es de notar, que para llegar a estas posibles soluciones ingenieriles, se tiene que pasar por un análisis o estudio de capacidad vial en el cual permite entender si una vía es apta para el volumen de tránsito que circula por la misma. En Colombia el análisis de capacidad vial y el estudio de NDS en vías urbanas, se rige en gran parte por los manuales de capacidad vial por medio de varios procedimientos basados en modelos analíticos calibrados con datos empíricos tomados en los estados unidos, cuya características y especificaciones urbanas, son diferentes en nuestro medio tanto para las condiciones del parque automotor como para la capacidad vial. Estas circunstancias pueden significar algunas inconsistencias en el momento de calcular los NDS en las ciudades colombianas.

De otra parte, una forma de hallar la congestión es por el método de los factores de máxima demanda (FHMD) que establece valores cercanos a 0 cuando existe congestión y los niveles de servicio serian de categoría E y F.

Aprovechando la realización de proyectos de grado reciente en donde se tomaron registros de volúmenes de tránsito en los sectores de Cabecera, San Andresito La Isla y en un tramo de la carrera 27, se plantea en la propuesta resolver el problema mediante la aplicación de datos y las variables relacionadas con los niveles de servicio que requieren el análisis de periodos de máxima demanda, tasas de flujo, volúmenes horarios de máxima demanda y velocidad de los automotores entre otras variables

Finalmente, el proyecto a realizar tiene una seria limitante dadas las características de la pandemia por el COVID 19, que obliga al confinamiento, dificultando la toma de información de campo y creando un escenario distinto a la de la normalidad que se venía presentando en la ciudad

## 1. Objetivos

### 1.1. Objetivo General

Plantear y ejecutar un análisis comparativo para el examen y deducción de Niveles de Servicio, a los cuales están sometidas las diferentes vías en la ciudad de Bucaramanga con ayuda de datos de volúmenes de tránsito existentes, las velocidades de operación vehicular, los manuales de capacidad vial y los factores horarios de máxima demanda.

### 1.2. Objetivos Específicos

- Identificar tres muestras representativas de datos de volúmenes de tránsito y velocidad media vehicular, para estimar niveles de servicio y congestión en sectores del Municipio de Bucaramanga
- Analizar los factores horarios de máxima demanda para las muestras representativas.
- Determinar y comparar la velocidad media de vehículos para distintos niveles de servicio de acuerdo con los manuales de capacidad vial HCM 2000 y 2010, y comparar los resultados con los NDS obtenidos en las tres muestras representativas, dadas las nuevas condiciones por la pandemia y los periodos de tiempo analizados.
- Realizar un análisis comparativo entre los factores horarios de máxima demanda calculados en las muestras y los diferentes datos

actuales de velocidades establecidos para diferentes niveles de servicio, según el HCM.

- Plantear comparaciones, conclusiones y recomendaciones.

## 2. Metodología

La secuencia de la metodología se establece de la siguiente forma:

- a) Análisis y estudios de los manuales de capacidad vial
- b) Análisis de los factores horarios de máxima demanda y las velocidades de operación mediante la extracción de datos de los siguientes proyectos de grado:

- 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.

- Análisis del impacto de tráfico en el centro comercial san Andresito la isla y sus zonas aledañas de influencia más importantes

- Análisis del impacto de tráfico en el sector de cabecera del llano y sus zonas de afluencia más importantes.

Eventualmente y dado que las metodologías para la realización de cualquier proyecto solo son exactamente aplicables en el momento de la realización del proyecto, es posible que se requiera de mayor información primaria o secundaria y se dejen en claro las limitaciones

de las condiciones actuales de pandemia, en donde por estas circunstancias, es posible que haya mejorado la movilidad y por ende los niveles de servicio en los sectores a estudiar.

- c) A partir de los volúmenes horarios de máxima demanda en los periodos diarios de mayor congestión según informes de la dirección de tránsito de Bucaramanga, se revisarán los factores horarios de máxima demanda teniendo en cuenta los datos ofrecidos por los tres proyectos anunciados en el literal b. Además, se tendrá en cuenta para periodos pico de 15 minutos y los factores extraídos de la información de los tres proyectos serán del mismo periodo de la mañana, o del medio día o de la tarde.
- d) Se obtendrán y analizarán datos de velocidades de operación de los tres sectores y de información de las autoridades de tránsito de Bucaramanga, especialmente en materia de velocidades a flujo libre. De no encontrarse el dato de la velocidad a flujo libre, se tendrá que tomar una muestra representativa en los sectores enunciados teniendo en cuenta el escenario COVID-19.
- e) Analizar el comparativo de los niveles de servicio dado por los manuales de capacidad vial teniendo en cuenta como premisa que estos manuales tienen aplicación de escenarios distintos. Dado que los NDS estimados por los manuales se basan en las velocidades de operación, se deberán analizar y de ser posible valorar e identificar las velocidades de flujo libre en los tres sectores a analizar de la meseta de Bucaramanga.

- f) Modular o articular los rangos de las velocidades con las cuales se determinan los NDS por medio de los manuales con los resultados de los factores horarios de máxima demanda.
- g) Analizar y comparar resultados coherentes con la observación visual de los NDS en los sitios de donde se extrajo la información, mediante ilustración grafica comparativa.

### **3. Marco Teórico.**

#### **3.1. Factores Horarios de Máxima Demanda**

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 periodo cabe en una hora, generalmente se usan periodos de 5, 10 y 15 minutos.

Según Cal y Mayor “el factor de la hora de máxima demanda es un indicador de las características del flujo de tránsito en periodos máximos. Indica la forma como están distribuidos los flujos máximos dentro de la hora. Su mayor valor es la unidad, lo que significa que existe una distribución uniforme de flujos máximos durante toda la hora. Valores bastante menores que la unidad indican concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora.”

Las variaciones del volumen de tráfico en la hora de máxima demanda se utilizan el FMHD que relaciona el volumen horario de máxima demanda con el flujo máximo. Su fórmula matemática se encontró en Cal, R., Reyes M, y Cárdenas, J, 2007

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(q_{max})}$$

Donde:

- FHMD= factor horario de máxima demanda, o FHP, es decir, factor de hora pico.
- VHMD= volumen horario de máxima demanda.
- N= número de periodos durante la hora de máxima demanda.
- $q_{máx}$ = flujo máximo

Cuando el FHMD se acerca a la unidad significa que existe una distribución de flujos máximos dentro de la hora, pero si por el contrario se aleja es muy inferior a la unidad indica que existen concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora, tomados de 15 minutos.

### 3.2. Velocidad.

El termino velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, expresada en Kilómetros por hora (Km/h)

### **3.2.1. Velocidad de punto.**

Según Cal y Mayor “La velocidad puntual de un vehículo es a su paso por un determinado punto de una carrera o de una calle. Como dicha velocidad se toma en el preciso instante del paso del vehículo por el punto, también se le denomina velocidad instante”.

### **3.3. Capacidad Vial.**

Se entiende por capacidad el número máximo de vehículos por unidad de tiempo que razonablemente puede esperarse que pase por un tramo de un carril o un camino, en un sentido (o en dos sentidos tratándose de camino e 2 o 3 carriles), bajo las condiciones imperantes del camino y del tránsito a las cuales corresponde esa capacidad. (Cal, R, Reyes M, y Cárdenas, J, Ingeniería de tránsito 2007).

### **3.4. 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 conveniencia y la seguridad vial. (Cal, R., Reyes, M y Cárdenas, J, 2007).

La metodología del HCM-2010 considera de efectividad o condiciones de operación necesarias para el cálculo del nivel de servicio de una vía:

- La velocidad
- Tiempo de recorrido
- Libertad de maniobra
- Interrupciones a la circulación

- Comodidad
- Conveniencias
- Seguridad vial

Para cada tipo de infraestructura se definen 6 niveles de servicio, establecidos por medio de un análisis de la letra A hasta la F, siendo el NDS A el de mejores condiciones operativas y el NDS F de pésimas condiciones. (Cerquera, Flor Ángela, Capacidad Y Niveles De Servicio Para La Infraestructura Vial, Transporte Y Vias, 2007, Uptc, Tunja.).

#### ***3.4.1 Nivel de servicio A.***

Este nivel de servicio representa una circulación de los vehículos a flujo libre. No existen interrupciones a la circulación, poseen una gran libertad para tomar las velocidades deseadas y tener excelente maniobra dentro del tránsito.

**Figura 1.**

*Nivel de servicio A*



*Nota.* Visualización del nivel de servicio A en una carretera multicarril Adaptado de Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000).

**3.4.2 Nivel de servicio B.**

El nivel de servicio B se encuentra en un rango estable, aunque se comienza a observar diferentes vehículos que se incorporan a la circulación. Las condiciones de operación cambian un poco, donde disminuye la libertad de maniobra y la comodidad dado que la presencia de alguien más influye en el comportamiento individual de cada uno.

**Figura 2.**

*Nivel de Servicio B.*



*Nota.* Visualización del nivel de servicio B en una carretera multicarril Adaptado de Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000).

### **3.4.3 Nivel de servicio C.**

Al igual que el nivel de servicio B pertenece a un rango estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de cada uno de los usuarios es afectada de manera importante por las interacciones con los demás usuarios. Se da el inicio de interrupción a las velocidades por la simple presencia de otros y por ende la libertad de maniobra comienza a ser restringida. Y más allá la comodidad y conveniencia desciende de manera significativa.

**Figura 3.**

*Nivel de Servicio C.*



*Nota.* Visualización del nivel de servicio C en una carretera multicarril Adaptado de Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000).

**3.4.4 Nivel de servicio D.**

La densidad o flujo es bastante elevado, aun así, estable. Las velocidades se ven realmente interrumpidas y se pierde la libertad de maniobra, el usuario experimenta un nivel de comodidad y conveniencia malo.

**Figura 4.**

*Nivel de servicio D.*



*Nota.* Visualización del nivel de servicio D en una carretera multicarril Adaptado de Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000).

**3.4.5 Nivel de servicio E**

Cuando una vía se encuentra en este nivel de servicio indica que el funcionamiento está a punto de tocar el límite de su capacidad, generando velocidades bajas de manera uniforme. En de gran dificultad tener una libertad de maniobra para el usuario forzándolo a “ceder el paso”. En los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, lo cual afecta al usuario de manera impotente. Se observan aumentos en el flujo o ligeras perturbaciones del tránsito, causando colapso o tráfico.

**Figura 5.**

*Nivel de servicio E.*



*Nota.* Visualización del nivel de servicio A en una carretera multicarril Adaptado de Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000).

**3.4.6 Nivel de servicio F.**

Representa un flujo totalmente contrario al del NDS A, donde su flujo tiene un comportamiento forzado, dado que la vía se encuentra con un tránsito que excede la cantidad que puede pasar la misma. Su operación se caracteriza por la existencia de tiempos de parada y arranque extremadamente inestables produciendo así colas o trancones, en otras palabras, congestión.

**Figura 6.**

*Nivel de servicio F*



*Nota.* Visualización del nivel de servicio A en una carretera multicarril Adaptado de Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000).

**3.5. Hcm 2000 y 2010.**

El Highway Capacity Manual o HCM fue el primer manual establecido por los estados unidos en el año 1950, el cual ha tenido cuatro actualizaciones, la última y ahora vigente es el HCM 2010, incluyendo una clasificación adicional, la carretera de dos carriles clase III, además de esto proporciona unas condiciones bases geométricas, de tipo de vehículos, entre otros. (Cerquera, Flor Ángela, Capacidad Y Niveles De Servicio Para La Infraestructura Vial, Transporte Y Vias, 2007, Uptc, Tunja.)

### ***3.5.1. Highway Capacity Manual HCM.***

Durante los años treinta y cuarenta, cuando la ingeniería de tránsito llegaba a la mayoría de edad, hubo gran inquietud por cuantificar el diseño de las vías con respecto a l tránsito que iban a servir, y de cierto modo, convertir el arte de la ingeniería de tránsito en una verdadera técnica. La demanda de tránsito, expresada en volumen, debía satisfacerse con una oferta de tránsito expresada también en volumen, que se llamaría capacidad vial. Entonces sería posible diseñar los elementos geométricos y de regulación de la circulación a fin de proporcionar una capacidad, en vehículos por hora, superior a los vehículos por hora que se estimara pasarían por la vía en el año de diseño y evitar que ocurriera la temida congestión de tránsito.

Existían diversos procedimientos teóricos que estimaban la capacidad vial basados en principios racionales, pero el fenómeno comprendía tantas variables desconocidas (especialmente en lo tocante a las reacciones humanas) que se pensó que lo más práctico sería elaborar un procedimiento basado mayormente en datos tomados en el terreno que establecerían relaciones empíricas entre las características del tránsito y las vías, y la capacidad de estas. En los Estados Unidos, la tarea de crear ese procedimiento fue acometida por el “Bureau of Public Roads” (que hoy se llama “Federal Highway Administration”) y fue dirigida por el ingeniero Olav Koch Norman. El fruto de esa labor fue el primer Manual de Capacidad Vial. Esta versión del manual introdujo el concepto de nivel de servicio. Veinte años después, en 1985, la TRB publicó la tercera edición, y en 1994 editó una actualización de ocho capítulos del HCM.

### **3.5.2 Versión HCM 2000**

Esta versión sigue la filosofía original ante el problema de definir analíticamente el complejo fenómeno del tránsito vial, se optó por definir primero las condiciones más ideales que fueran posible (carriles de 3.66 m, rasante horizontal, alineamiento recto, ausencia de vehículos pesados, etc.) y luego aplicar a ella factores de corrección o ajuste que representaran que tanto se apartan las condiciones reales de las ideales. La pauta para definir las condiciones ideales fue el punto a partir del cual, una mejora de cualquier naturaleza de esas condiciones no se reflejará en el aumento de la capacidad ni en la elevación del nivel de servicio. (Cerquera, Flor Ángela, capacidad y niveles de servicio para la infraestructura vial, transporte y vías, 2007, uptc, tunja.

## **3.6. Aplicación del HCM.**

El procedimiento básico de los manuales de capacidad norteamericanos suele ahora contemplar tres niveles de aplicación:

### **3.6.1. Análisis de circulación.**

Es la aplicación que requiere mayor precisión y se basa en datos actuales sobre el tránsito, vía y regulación. Si interesara conocer el nivel de una vía o parte de ella en condiciones presentes, lo mejor sería medir el parámetro correspondiente en el terreno y olvidarse de las relaciones que ofrece el manual, pero a veces se usa el manual para extrapolar valores del parámetro que se han medido solamente en una parte de la vía cuando interesa conocerlos para toda la vía. La aplicación más útil del análisis de circulación es, sin embargo, cuando se quiere evaluar el efecto de una medida de corto alcance, tal como el cambio de la programación de un semáforo, la adición de un ramal de giro a derecha, o el aumento del

radio de una curva en una carretera rural. También se puede medir una variable a lo largo de una vía con un vehículo en movimiento, tal como la velocidad a flujo libre y utilizar el manual para inferir el nivel de servicio a partir de esa información y de otros datos aislados que se tengan.

### ***3.6.2. Diseño o proyecto.***

Cuando se diseña una vía, o elemento permanente de ella que requieran grandes inversiones, se debe garantizar que su utilidad vaya a durar bastante tiempo. Entonces es preciso predecir cuál va a ser la demanda de tránsito en el año para el que se proyecta a fin de satisfacer esa demanda razonablemente. El manual puede determinar algunos elementos de diseño directamente, tales como el número de carriles necesarios, y en otros casos estimar el nivel de servicio que brindaría el diseño propuesto, cuando se alcanzare su capacidad, y sugerir en muchos casos, los cambios que debían hacerse al diseño para lograr los objetivos propuestos. La precisión de esta aplicación es intermedia debido a la incertidumbre que siempre existe en la predicción de la demanda de tránsito.

### ***3.6.3. Planeación.***

Esta aplicación se hace generalmente cuando se empieza a planear una vía o un sistema vial y todavía no se conoce con exactitud todos los detalles necesarios. Por ejemplo, es posible que la demanda de tránsito solo se conozcan valores estimados del tránsito promedio diario. Por eso es la aplicación menos precisa. El HCM proporciona procedimiento de planeación que son menos complicados que los que se aplican para diseño o análisis de circulación, a fin de evitar el uso de refinamientos innecesarios en trabajos de planeamiento

preliminar. No obstante, con la difusión del HCM (High Capacity Manual) esos procedimientos van perdiendo favor.

Se ha mencionado que los estudios de capacidad generalmente se hacen por periodos de 15 minutos y se suele escoger el cuarto de hora de mayor demanda, dentro de la hora pico para hacer los análisis a fin de estudiar las condiciones peores. El procedimiento del HCM supone que solo se conoce el volumen de demanda en la hora pico, pero no las variaciones de él dentro de esa hora, y que es posible estimar el factor de pico horario, conociendo las características de la vía que se estudia. Entonces, dividiendo el volumen para toda la hora entre el factor de pico horario se estima el volumen (en vehículos/hora) para el cuarto de hora de mayor demanda, sin embargo, si se conoce la demanda en periodos al menos de 15 minutos es más preciso utilizar el mayor de ellos para hacer el análisis y olvidarse del factor de hora pico. (Cerquera, Flor Ángela, capacidad y niveles de servicio para la infraestructura vial, transporte y vías, 2007, uptc, tunja.).

#### **4. Determinación de NDS por medio del HCM 2000 y 2010.**

Los tramos a analizar fueron estudiados anteriormente con el fin de diferentes proyectos de grado, a continuación se establecen los tres tramos a estudiar.

##### **Tabla 1.**

*Tramos para la determinación de NDS.*

Tramo	Dirección
1	carrera 27 entre av. La rosita con calle 36
2	Calle 52 entre crra 34 y 33
3	diagonal 15 entre calle 55 y 56

Nota. Tramos escogidos de tres proyectos de grado aprobados con datos históricos, elaborado para este proyecto, 2021.

#### **4.1. Tramo vial de la carrera 27 entre avenida la rosita y la calle 36.**

El primer tramo para estudiar y analizar es el tramo de la carrera 27 entre avenida la rosita y la calle 36, se encuentra ubicado en el área metropolitana de Bucaramanga, como se muestra en la *figura 7*, es considerada una vía urbana, se caracteriza por tener 3 carriles en una sola dirección, permite conectar la autopista Floridablanca-Piedecuesta con el casco urbano de Bucaramanga. Es una de las vías mas utilizadas en el día a día por los usuarios contando con volúmenes horarios altos y así mismo su congestión incrementa diariamente.

**Figura 7.**

*Ubicación del tramo vial, tramo 1.*



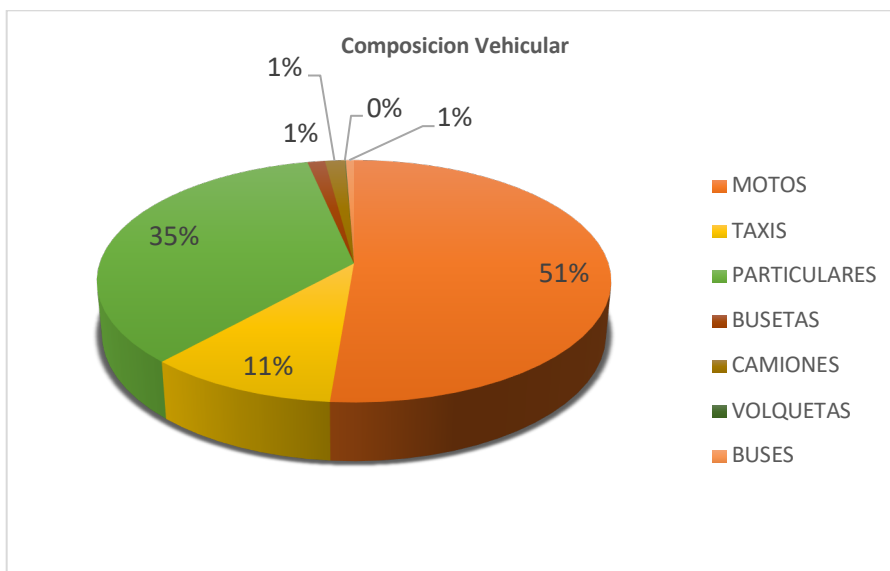
*Nota.* Tramo de la carrera 27 entre avenida la rosita y calle 36 ubicado en la ciudad de Bucaramanga, tomado de Google Maps.

#### **4.1.1. composición vehicular.**

Con el aforo realizado por Marino, Rodríguez E. 2020, se logró obtener información sobre la composición vehicular, del sentido Sur-Norte, siendo el de mayor porcentaje de vehículos generando resultados para situaciones críticas, los datos se muestran en la *tabla 2*.

**Figura 8.**

*Composición Vehicular Sentido Sur-Norte, tramo 1.*



Nota. *Composición Vehicular del tramo de la carrera 27 entre avenida la rosita y calle 36,*

*Adaptado de Marino, Rodríguez, 2019.*

**Tabla 2.**

*Composición Vehicular Sentido Sur-Norte, tramo 1..*

	MOTOS	TAXIS	PARTICULARES	Busetas	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%	

Nota. *Composición Vehicular del tramo de la carrera 27 entre avenida la rosita y calle 36,*

*Adaptado de Marino, Rodríguez, 2019.*

Es de notar que existe un mayor porcentaje de motos y vehículos particulares en este tramo y en menor cantidad volquetas y buses.

#### **4.1.2. Factor Horario de Máxima Demanda (FHMD). Tramo 1, carrera 27.**

Como primer paso para encontrar el FHMD, se procede a hallar el Volumen Horario de Máxima Demanda; en los datos obtenidos se observa que la hora de máxima demanda corresponde al periodo de tiempo entre las 7:00 am y las 8:00 am, analizando así el Volumen Horario de Máxima Demanda (VMHD) del tramo 1 por medio de la siguiente ecuación tomada del HCM 2000 y 2010.

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

$$VHMD = 4431 \frac{\text{Vehiculos mixtos}}{h}$$

$$VHMD (q15) = \frac{VHMD}{4} = \frac{4431}{4} = 1108$$

Donde:

VHMD= Volumen Horario de Máxima Demanda

VHMD (q15)= Volumen Horario de Máxima Demanda para periodos de 15 minutos

Es necesario tener en cuenta el significado de la ecuación que permite calcular el valor del FHMD, esta es la relación entre el VHMD con el flujo máximo en periodos cortos de 15 minutos multiplicado por el número de periodos que existe en una hora, indicando que, si el flujo máximo de 15 minutos aumenta, automáticamente el FHMD disminuiría.

A continuación, se muestra el cálculo para el tramo 1, de la carrera 27.

$$FHMD = \frac{VHMD}{4 * Q_{max}} = \frac{4431}{4 * 1167} = 0,949 \approx 0,95$$

Es de suma relevancia entender que este valor del FHMD tiene un intervalo de 0 a 1, un valor de 0,95 indica que el flujo se mantuvo uniforme en los periodos de una hora y que no tuvo concentraciones altas de vehículos en periodos cortos de 15 minutos.

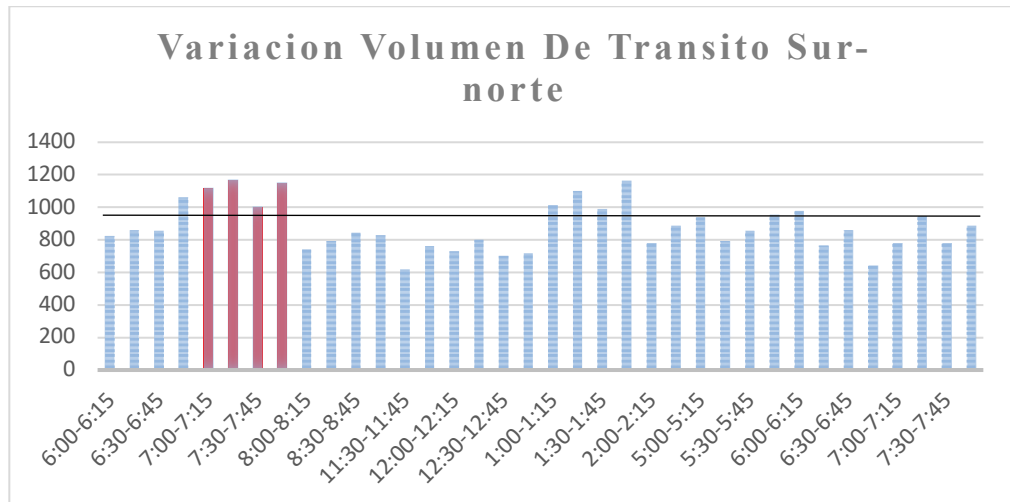
Como conclusión se establece que los FHMD por sí solos no dan resultados sobre calificación de NDS, pero si muestran comportamiento de los flujos máximos.

No obstante, lo anterior, más adelante se incluye un ejercicio realizado en un proyecto de grado ya aprobado, que merece ser evaluado como tema de investigación, para la determinación de NDS teniendo en cuenta los FHMD.

A continuación, en la *Figura 9*, podrán observar la variación del volumen de tránsito y VHMD (q15) en sentido sur- norte, en donde se logra observar el comportamiento de los vehículos que transitan en este sentido.

**Figura 9.**

*Variación del volumen de tránsito y VHMD (q15), tramo 1.*



*Nota.* Variación del volumen de tránsito Sur-Norte de la carrera 27 entre avenida la rosita y calle 36, Adaptado de Marino, Rodríguez, 2019.

Para analizar la capacidad vial mas a fondo de este tramo se puede realizar un procedimiento que no es del todo correcto, siendo una aproximación a un NDS, dado que la carrera 27 es considerada una autopista, pero propiamente no lo es, porque en esta vía se encuentran asociados tramos afectados por movimientos de divergencia o convergencia y maniobras de entrecruzamiento, las cuales nos son características de una autopista, en la Metodología utilizada en el HCM 2000 para encontrar Niveles de Servicio (NDS) en autopistas, tiene como principal requerimiento tener los datos geométricos del tramo a estudiar y analizar, datos de velocidad a flujo libre y el volumen horario por cada uno de los sentidos, con el fin de obtener el FHMD, además con ayuda del mismo manual se determina el porcentaje de vehículos pesados, el cálculo de la velocidad de flujo libre y la densidad,

estos datos son analizados por medio de graficas encontradas en el HCM 2000, permitiendo encontrar o definir el NDS del tramo.

#### **4.1.3. NDS por medio de la Densidad HCM2000. Tramo 1 carrera 27.**

El nivel de servicio para este tramo se cálculo por medio de la densidad, suponiendo que el tramo 1 es una autopista, para estudiar más a fondo este tramo y entender realmente la relación de los FHMD con el NDS.

Una limitante para aplicar el concepto a continuación, es que el tramo de la carrera 27, no está relacionado con las características de una autopista, ni de una vía de carriles múltiples, para dejar en claro que la aplicación a continuación, se hace por no contar con metodologías colombianas para calificar NDS en nuestras vías urbanas y rurales, teniendo que acudir al HCM 2000 y 2010, que establece características básicas para estos sistemas viales.

Como primer paso se halla la velocidad a flujo libre.

$$FSS = BBS - f_C - f_S - f_B - f_A$$

Donde:

FSS= Velocidad a flujo libre del sector

BBS= Velocidad genérica del sector

$f_C$ = corrección por ancho del carril

$f_S$ = corrección por ancho del separador

$f_B$  = corrección promedio de ancho de bermas

$f_A$  = corrección por densidad de accesos

El sentido que mayor presento flujo vehicular, en este tramo, seria el sentido Sur-Norte, en donde se puede observar un porcentaje vial aproximadamente de 50/50, pero aun así el flujo vehicular en esta dirección se mostro con mayor porcentaje.

**Tabla 3.**

*Flujo Vehicular Tramo 1.*

Sentido	Flujo vehicular	%
SUR-NORTE	31673	50,9%
NORTE-SUR	30507	49,1%

*Nota.* Porcentaje del flujo vehicular en cada sentido de la carrera 27 entre avenida la rosita y calle 36, Adaptado de Marino, Rodríguez, 2019.

Para el cálculo de los factores de corrección se necesita analizar cada una de las tablas encontradas en el HCM 2000, las cuales son las siguientes:

**Tabla 4.***Ajuste  $f_c$ .*

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
$\geq 3.5$	0.0

*Nota.* Factor de corrección de ajuste por ancho de carril, Adaptado del HCM 2000.

**Tabla 5.***Ajuste  $F_s$ .*

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

*Nota.* Factor de corrección de ajuste por ancho de separador, Adaptado del HCM 2000.

**Tabla 6.***Ajuste Fb.*

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
$\geq 2.0$	0.0

*Nota.* Factor de corrección de ajuste por ancho de bermas, Adaptado del HCM 2000.

**Tabla 7.***Ajuste fa*

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
$\geq 20$	17.4

*Nota.* Factor de corrección de ajuste por Densidad de accesos, Adaptado del HCM 2000.

Es necesario analizar las diferentes características que hay que tener en cuenta al momento de escoger los factores de ajuste de cada factor, son tomados de las *tabla 4* a la *tabla 7*, reemplazando estos en la siguiente ecuación:

$$BBS = 65 \text{ km/h}; f_C = 0,0; f_S = 1,3; f_B = 2,5; f_A = 2,5.$$

$$FSS = 65 - 0 - 1,3 - 2,5 - 0$$

$$FSS = 61,2 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

Obteniendo como resultado 61,2 Km/h lo que se aproxima a tener una velocidad de flujo libre de 60 Km/h, según el HCM 2000.

Como siguiente paso se Determina la tasa de Flujo, siendo calculada por medio de la ecuación 23-2 HCM 2000.

$$Vp = \frac{V}{FHMD * N * f_{HV} * f_P}$$

Donde:

$Vp$ = Flujo de transito

$V$ = Volumen de transito mixto

$FHMD$ = factor horario de máxima demanda

$f_{HV}$ = factor de ajuste del vehiculo pesado

$f_p$  = factor de conocimiento de la vía.

Para realizar el cálculo de la tasa de flujo como primera instancia se debe hallar el  $f_{HV}$  para lo que se tiene la siguiente ecuación con sus diferentes factores de corrección tomados del HCM 2000 específicamente de los cuadros 21-8 al 21-11.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + Pt(Et - 1) + Ps(Es - 1) + Pr(Er - 1)}$$

Donde:

Et= automóviles equivalente a un camión

Es= automóviles equivalentes a un autobús

Er=automóviles equivalentes a vehículos recreativos.

Estos factores anteriormente mencionados son encontrados en la siguiente tabla y se les da un valor según el tipo de terreno.

**Tabla 8.***Factores de vehículos equivalentes.*

Equivalencia en vehículos ligeros para segmentos básicos de autopista			
Categoría	Tipo de terreno		
	Llano	Odulado (Pendientes entre el 4 y el 6%)	Montañoso (Pendientes mayores del 6%)
Camiones y Buses ET	1,5	2,5	4,5
Er Vehículos Recreativos	1,2	2	4

*Nota.* Equivalencia en vehículos ligeros ET, Er, Adaptado del HCM 2000.

Teniendo en cuenta que el terreno es llano se obtiene que los factores Et y Er son 1,5 y 1,2 respectivamente, es necesario reemplazar en la ecuación de factor de ajuste del vehículo pesado los valores y así se obtiene el siguiente resultado:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 1.45(1.5 - 1) + 0.6(1.5 - 1) + 34,89(1,2 - 1)}$$

$$f_{HV} = 0,926$$

Ahora bien, se procede a encontrar el flujo de tránsito con la ecuación anteriormente propuesta.

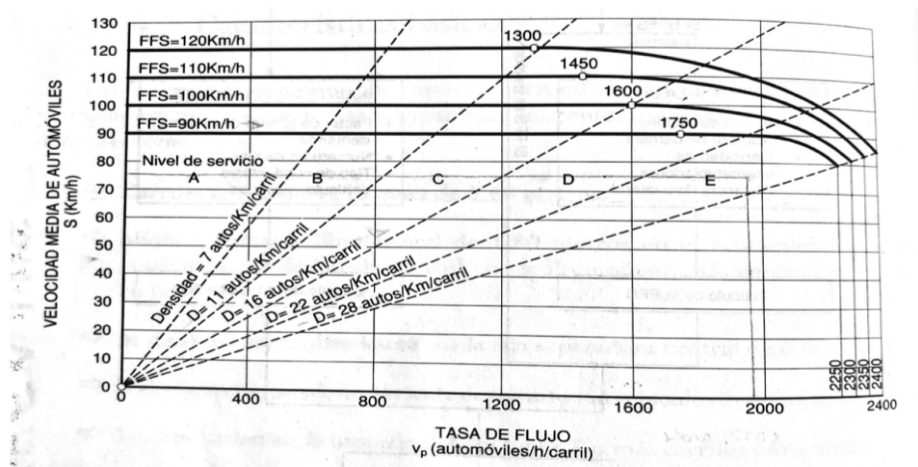
$$Vp = \frac{4431}{0,95 * 3 * 0,926 * 1}$$

$$V_p = 1678,98 \approx 1679$$

Con el valor anteriormente hallado de la tasa de flujo debe ser dividido por una velocidad media de los automóviles hallada de la con ayuda de la siguiente grafica, en donde la FFS establece que velocidad se ha de tomar para hallar la densidad.

**Figura 10.**

*Grafica de velocidad media vs tasa de flujo.*



*Nota.* Gráfica necesaria para obtener la velocidad media para hallar el NDS, Adaptado del HCM 2000.

$$V = 61,2 \text{ km/carril}$$

Este valor obtenido para la velocidad media se estableció por medio de la *figura 10*, permitiendo establecer este valor a partir de la tasa de flujo obtenida. Al encontrar esta velocidad de relaciona con la tasa de flujo para encontrar así la densidad de la siguiente manera.

$$D = \frac{Vp}{V}$$

$$D = \frac{1679}{61,2} = 27,43 \text{ veh liv/km/carril}$$

Este valor se compara con las densidades establecidas por el HCM 2000, mostrado en la siguiente tabla.

**Tabla 9.**

*Nivele de servicio para autopistas.*

Niveles de servicio	Densidad (veh livianos/Km/carril)
A	$\leq 7$
B	$> 7-11$
C	$> 11-16$
D	$> 16-22$
E	$> 22-28$
F	La demanda excede la capacidad $>28$

*Nota.* Niveles de servicio para autopistas según la densidad de la vía, Adaptado del HCM 2000.

Con el valor de la densidad obtenido se compara con los rangos de densidad que están en la tabla 3, encontrando una densidad entre 22 y 28 vehículos/km/carril, el cual establece un NDS igual a E para este tramo.

No obstante haber considerado la limitante en la aplicación de este método cabe resaltar que el NDS calculado dio un valor coherente con la realidad observada.

#### 4.1.4. NDS por medio de la densidad HCM 2010. Tramo 1 carrera 27.

Para esto es necesario comenzar hallando la velocidad a flujo libre de la vía con la siguiente ecuación tomada del HCM 2010.

$$FSS = BBS - f_{LW} - f_{LC} - 3,22(TRD)^{0,84}$$

Donde:

FSS= Velocidad a flujo libre del sector

$f_{LW}$ = corrección por ancho del carril

$f_{LC}$ = corrección por libre lateral

$TDR = Densidad\ total\ de\ rampas\ de\ enlaces$

El sentido que mayor presente flujo vehicular, en este tramo, sería el sentido Sur-Norte, en donde se puede observar un porcentaje vial aproximadamente de 50/50.

Ahora bien, para el cálculo de los factores de corrección se necesita analizar cada una de las tablas encontradas en el HCM 2010, las cuales son las siguientes:

**Tabla 10.***Ajuste flw.*

Ancho de carril	Reducción de la velocidad a flujo libre $fLW$ (Km/h)
$\geq 3,66$	0,0
$\geq 3,36-3,66$	3,1
$\geq 3,05-3,36$	10,6

*Nota.* Reducción de ajuste de la velocidad por medio del ancho de carril, Adaptado del HCM 2010.

**Tabla 11.***Ajuste fcl.*

Hombro derecho despeje lateral (m)	flujo libre $fLC$ Carriles en una dirección			
	2,0	3,0	4,0	$\geq 5$
$\geq 1,8$	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	1,0	0,7	0,3	0,2
1,2	1,9	1,3	0,7	0,4
0,9	2,9	1,9	1,0	0,6
0,6	3,9	2,6	1,3	0,8
0,3	4,8	3,2	1,6	1,1
0	5,8	3,9	1,9	1,3

*Nota.* Reducción de la velocidad a flujo libre por el hombro derecho despeje lateral, Adaptado

del HCM 2010.

Los factores se toman de las tablas anteriores y se deben reemplazar los en la ecuación siguiente, en donde se obtuvo que  $f_{LW} = 3.1$  ,  $f_{LC} = 1,9$  y  $TRD=0$ .

$$FSS = 65 - 3,1 - 1,9 - 7,65(0)^{0,84}$$

$$FSS = 60 \frac{Km}{h}$$

Obteniendo como resultado 58,7 km/h lo que se aproxima a tener una velocidad de flujo libre de 60 km/h según el HCM 2010.

Se determina la tasa de Flujo utilizando la ecuación 23-2 HCM 2010:

$$Vp = \frac{V}{FHMD * N * f_{HV} * f_P}$$

Donde:

$Vp$ = Flujo de transito

$V$ = Volumen de transito mixto

$FHMD$ = factor horario de máxima demanda

$f_{HV}$ = factor de ajuste del vehiculo pesado

$f_P$ = factor de conocimiento de la via

Para el  $f_{HV}$  es necesario utilizar la ecuación 23-3 HCM 2010.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + Pt(Et - 1) + Pr (Er - 1)}$$

Donde:

$E_t$ = automóviles equivalente a un camión

$E_s$ = automóviles equivalentes a un autobús

$E_r$ =automóviles equivalentes a vehículos recreativos

Estos factores anteriormente mencionados son encontrados en la siguiente tabla y se les da un valor según el tipo de terreno.

**Tabla 12.**

*factores de ajuste vehicular equivalentes.*

Vehicle	PCE by Type of Terrain			Exhibit 14-12 PCEs for Heavy Vehicles in General Terrain Segments
	Level	Rolling	Mountainous	
Trucks and buses, $E_t$	1.5	2.5	4.5	
RVs, $E_r$	1.2	2.0	4.0	

*Nota.* Factores de ajuste vehicular para el factor de vehículos pesados, Adaptado del HCM 2010.

Reemplazando en la ecuación de factor de ajuste del vehículo pesado los valores, obtenemos el siguiente resultado:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 1.45(1.5 - 1) + 34,89(1,2 - 1)}$$

$$f_{HV} = 0,928$$

Con este valor del factor de ajuste de vehículos pesados se procede a hallar la tasa de flujo, teniendo en cuenta que el tramo cuenta con tres carriles en un solo sentido.

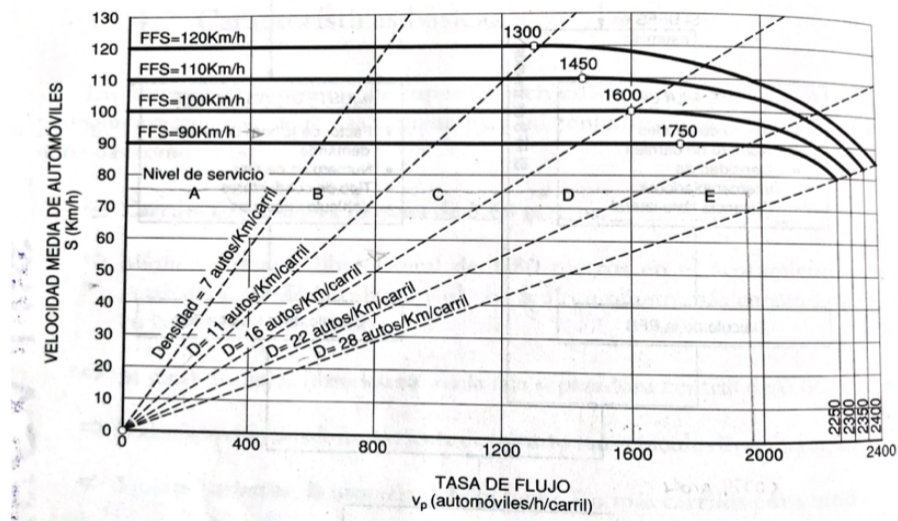
$$Vp = \frac{4431}{0,95 * 3 * 0,928 * 1}$$

$$Vp = 1675,36 \approx 1675 \frac{veh}{h}$$

Con el valor anteriormente hallado de la tasa de flujo debe ser dividido por una velocidad media de los automóviles, hallada con la ayuda de la siguiente gráfica, en donde el FFS establece que velocidad se ha de tomar para hallar la densidad.

**Figura 11.**

*Grafica de velocidad media vs tasa de flujo.*



*Nota.* Gráfico para encontrar la velocidad media y así llegar al NDS de la vía, Adaptado del HCM 2010.

Teniendo en cuenta el valor de FFS hallado anteriormente se debe buscar en la figura 22, el valor de la velocidad media que se debe tener en cuenta para encontrar la densidad del tramo. Se puede observar que la velocidad media tiene un valor de 60 km/h

Ahora bien, para hallar la Densidad se divide el flujo de tránsito entre la velocidad hallada anteriormente para así obtener el valor de la densidad del tramo.

$$D = \frac{Vp}{V}$$

$$D = \frac{1675}{60} = 27,91 \text{ veh liv/km/carril}$$

Para encontrar el nivel de servicio al cual se encuentra relacionado el tramo estudiado, es necesario tener en cuenta el valor de la densidad obtenido anteriormente en la siguiente figura.

**Tabla 13.**

*Nivel de Servicio para autopistas.*

Niveles de servicio	Densidad (veh livianos/Km/carril)
A	≤ 7
B	> 7-11
C	> 11-16
D	> 16-22
E	> 22-28
F	La demanda excede la capacidad >28

*Nota.* Niveles de servicio para autopistas según la densidad de la vía, Adaptado del HCM 2010.

Con el valor de la densidad obtenido se compara con los rangos de densidad que están en la *tabla 2*, encontrando una densidad entre 22 y 28 vehículos/km/carril, el cual establece un NDS igual a E para este tramo. Cabe resaltar que este procedimiento tiene una limitante dado que el tramo 1 no es propiamente una autopista sino la continuación de una,

Es de considerar que en el NDS calculado por este método es coherente con el que se observa en la vía.

#### **4.1.5. NDS por Velocidad para el tramo 1 de la carrera 27.**

Los datos obtenidos de velocidad fueron tomados del proyecto de grado ya realizado anteriormente, Marino, Rodríguez, 2020. Para lo cual se obtuvo una velocidad promedio de 40,539 Km/h

**Tabla 14.**

*Velocidades Sur-Norte.*

velocidad sur-norte	
vel min	16,48
vel máx.	79,66
rango	63,17
N. Intervalos	9
paso	7,02
N	150

*Nota.* Tabla de velocidades del tramo 1 de la carrera 27 entre avenida la rosita y calle 36, Adaptado del proyecto de grado de Marino, Rodríguez, 2019.

Con los datos anteriores se hallan las frecuencias, estableciendo los intervalos de clase con el su punto medio y así se estima la frecuencia observada tanto absoluta como relativa.

**Tabla 15.***Distribución de frecuencia Sur-Norte.*

N. intervalos	Intervalo de grupos de v Km/h	de clase	Punto medio Vi(km/h)	Frecuencia Observada	
				absoluta fi	relativa (fi/n)*100
1	16,48	23,5	20	1	0,667
2	23,5	30,52	27	15	10,000
3	30,52	37,54	34	48	32,000
4	37,54	44,56	41	39	26,000
5	44,56	51,58	48	30	20,000
6	51,58	58,6	55	13	8,667
7	58,6	65,62	62	1	0,667
8	65,62	72,64	69	2	1,333
9	72,64	79,66	76	1	0,667

*Nota.* Tabla de frecuencia observada de la carrera 27 entre avenida la rosita y calle 36,

Adaptado del proyecto de grado de Marino, Rodríguez, 2019.

Es necesario para realizar el análisis de la velocidad media, encontrar la frecuencia acumulada como se muestra en la tabla 17 y así mismo realizar la grafica de la velocidad de operación de este tramo.

**Tabla 16.***Distribución de frecuencia Sur-Norte.*

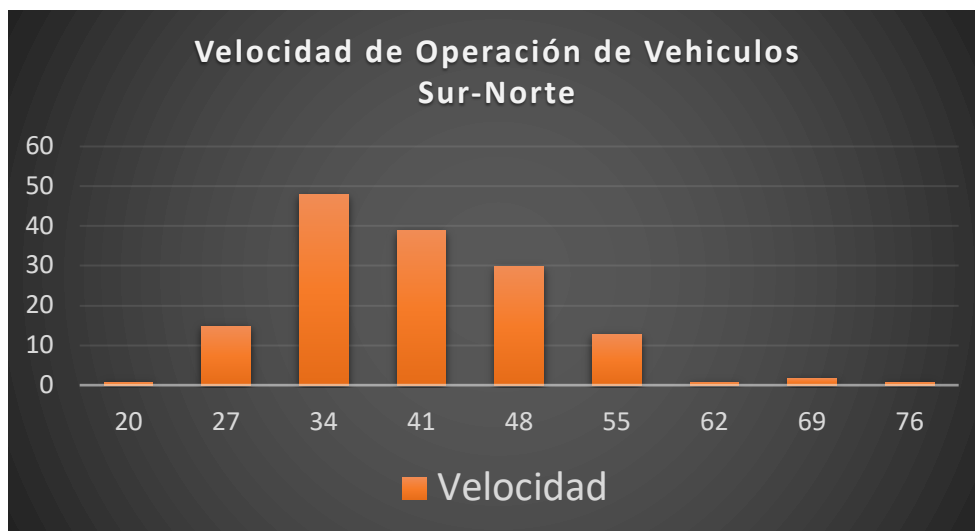
Frecuencia Acumulada		VI2	VI*Frecuencia	f <sub>i</sub> v <sub>i</sub> 2
absoluta	relativa			
Fia	(fia/n)*100			
1	1	400	20	400

16	11	729	405	10935
64	43	1156	1632	55488
103	69	1681	1599	65559
133	89	2304	1440	69120
146	97	3025	715	39325
147	98	3844	62	3844
149	99	4761	138	9522
150	100	5776	76	5776
			6087	259969

*Nota.* Tabla de frecuencias acumuladas del tramo 1 de la carrera 27 entre avenida la rosita y calle 36, Adaptado del proyecto de grado de Marino, Rodríguez, 2019.

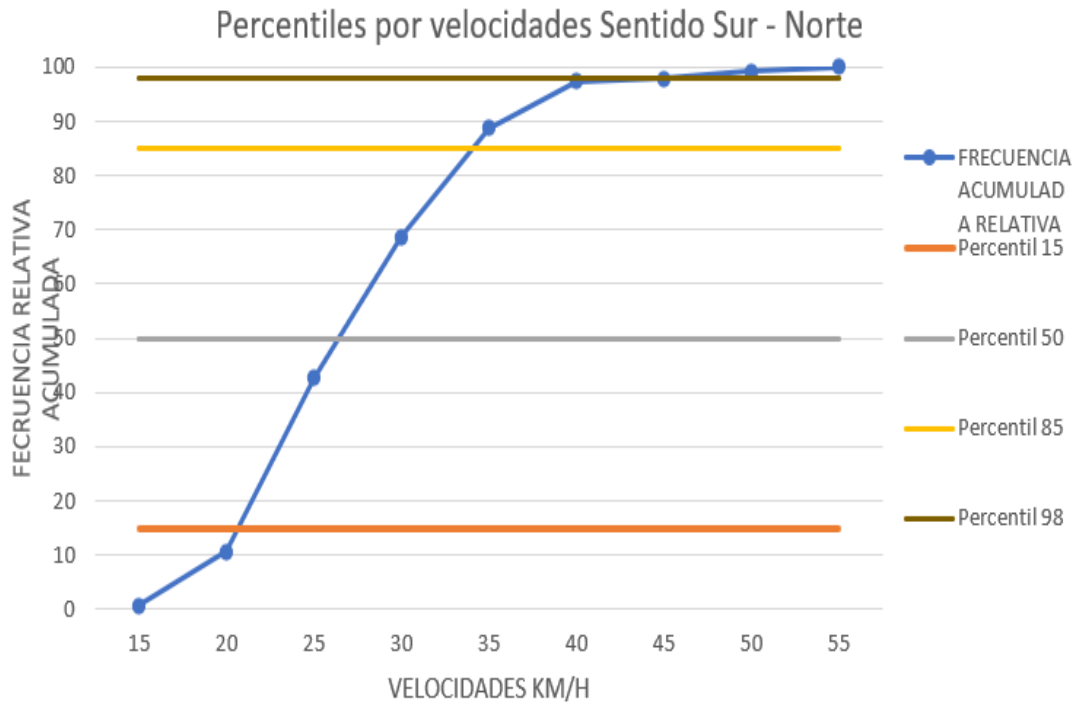
### Figura 12.

*Histograma y polígono de frecuencias de velocidades punto.*



*Nota.* Tabla de velocidades del tramo 1 de la carrera 27 entre avenida la rosita y calle 36, Adaptado del proyecto de grado de Marino, Rodríguez, 2019.

Con ayuda de la anterior grafica de frecuencias acumulada vs velocidad, es posible hallar la velocidad de proyecto por medio de los percentiles, mostrada en la figura 25.

**Figura 13.***Percentiles de velocidad, Sur-Norte.*

*Nota.* Percentiles de velocidad sentido Sur-Norte de la carrera 27 entre avenida la rosita y calle 36, Adaptado del proyecto de grado de Marino, Rodríguez, 2019.

- Limite inferior de velocidad (P15): 21,58 Km/h
- Velocidad de medida de calidad del flujo vehicular (P50): 26,45 Km/h.
- Velocidad de operación (P85): 34,56 km/h.
- Velocidad de proyecto (P98): 42,13 Km/h.

La velocidad media establecida como el P50 es de 26,45 Km/h, se conoce como velocidad medida de calidad del flujo vehicular y es comparada con la siguiente tabla para encontrar así el NDS del tramo por medio de velocidades, esta tabla se tomó del HCM 2000.

**Tabla 17.**

*Niveles de Servicio según Rango de Velocidad.*

Urban Street Class	I	II	III	IV
Range of free-flow speeds (FFS)	90 to 70 km/h	70 to 55 km/h	55 to 50 km/h	55 to 40 km/h
Typical FFS	80 km/h	65 km/h	55 km/h	45 km/h
LOS	Average Travel Speed (km/h)			
A	> 72	> 59	> 50	> 41
B	> 56-72	> 46-59	> 39-50	> 32-41
C	> 40-56	> 33-46	> 28-39	> 23-32
D	> 32-40	> 26-33	> 22-28	> 18-23
E	> 26-32	> 21-26	> 17-22	> 14-18
F	≤ 26	≤ 21	≤ 17	≤ 14

*Nota.* Tabla Niveles de Servicio según la velocidad a flujo libre y la velocidad obtenida de la grafica de percentiles, Adaptado del HCM 2000.

Teniendo en cuenta el valor de la velocidad media de 26,45 Km/h en la tabla 7, se encuentra que el valor del NDS es de D, cabe resaltar que la capacidad vial en este tramo en ciertas horas del día es sumamente preocupante, presentándose alta congestión.

El criterio de usar la velocidad media (26.45 Km/hora) se debe a que es el comportamiento de la mayoría de los conductores en ese tramo de la carrera 27.

**NOTA IMPORTANTE:** También es posible determinar los NDS en el HCM 2010 teniendo en cuenta el capítulo 17, que establece criterios de índices en rangos de tiempo de

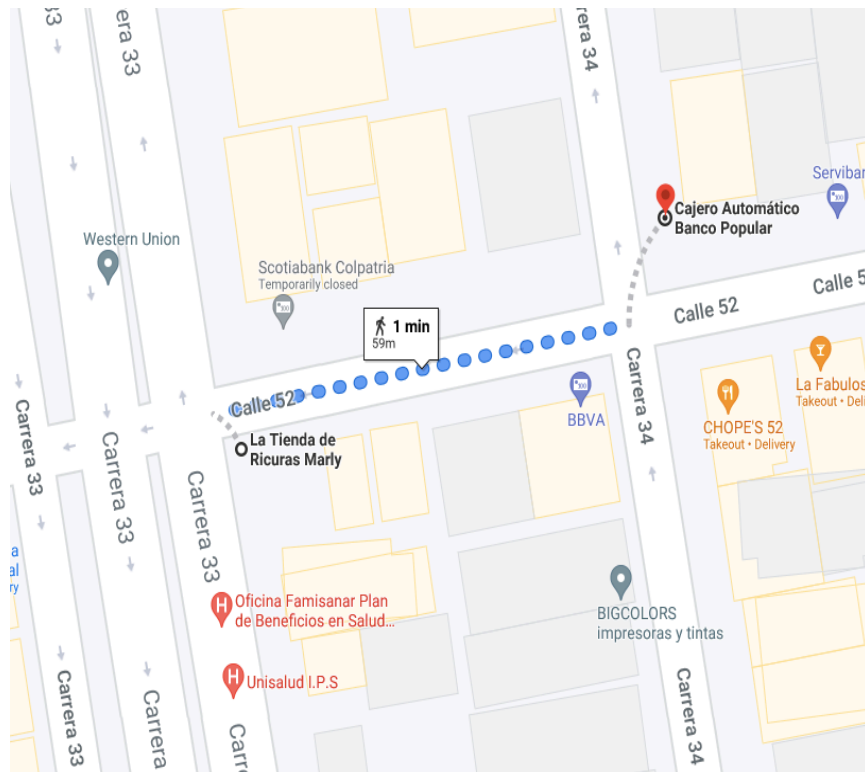
paso de los vehículos, en segmentos de vías urbanas. Esto implica la obtención de datos diferentes a los de la velocidad que no están en los proyectos de los cuales se extrajo la información de campo.

#### **4.2. Tramo vial de la calle 52 entre carrera 34 y carrera 33, Cabecera**

El proyecto realizado en la zona de cabecera del llano permitió obtener resultados de los tramos viales más congestionados en su zona, uno de ellos fue el tramo de la calle 52 entre carrera 34 y 33, en donde se encontraron horas de alta intensidad de tráfico y un gran congestionamiento, es necesario entender que esta calle es uno de los únicos tramos viales de la zona de cabecera de Bucaramanga que permite el retorno al sur del área metropolitana de Bucaramanga, es decir que la mayoría de vehículos se ven obligados a tomar esta ruta dado que después de la calle 45 la próxima en permitir este retorno es la 52, generando así velocidades bajas y alta congestión como se ha de ver a continuación.

**Figura 14.**

*Ubicación del tramo vial, tramo 2.*



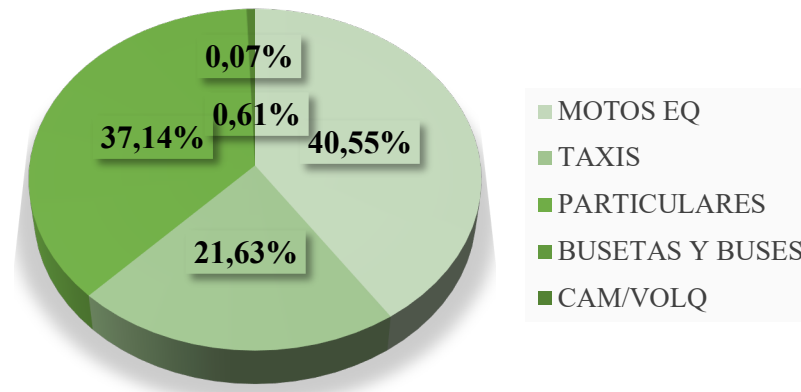
*Nota.* Ubicación en el mapa del tramo 2 de la calle 52 entre carrera 34 y carrera 33, Adaptado de Google Maps.

#### **4.2.1 Composición Vehicular.**

Con el aforo realizado por Mayorga, Otero, 2019, se logró obtener la siguiente información:

**Figura 15.**

*Composición vehicular, calle 52 entre carrera 34 y 33.*



*Nota.* Gráfico de la composición vehicular del tramo 2 de la calle 52 entre carrera 34 y carrera 33, Adaptado del proyecto de grado de Mayorga, Otero, 2019.

Cabe resaltar que esta calle tiene tan solo un sentido en el cual circulan los vehículos, del oriente al occidente de la ciudad de Bucaramanga.

#### ***4.2.2 Factor Horario de Máxima Demanda.***

Para hallar el FHMD es necesario tener en cuenta el valor del Volumen Horario de Máxima Demanda en los 15 minutos con mayor congestión, tomando así los valores obtenidos en el trabajo de grado de Mayorga, Otero, 2019. El estudio realizado se hizo para una manzana completa, con seis estaciones y una estación maestra, para trabajar del presente proyecto se tomo como referencia la estación 5, debido a que es donde se muestra el mayor valor del VHMD.

**Tabla 18.***Volumen horario en cada estación.*

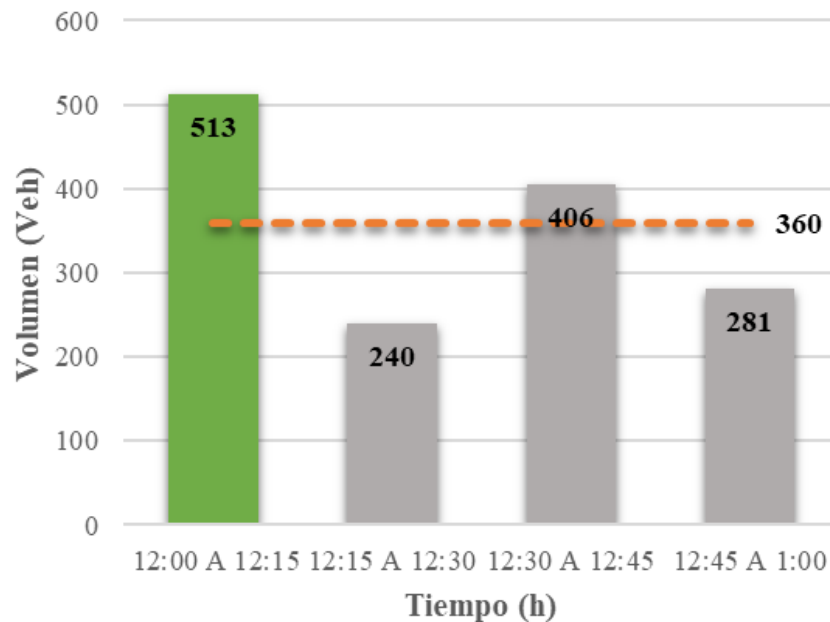
<b>INDICADORES DE CONGESTIÓN EN ESTACIONES DE COBERTURA Y MAESTRA PARA FIJAR NDS</b>	
<b>ESTACIÓN</b>	<b>VHMD</b>
1	651
2	1029
3	176
4	524
5	1440
6	826
<b>Maestra</b>	<b>1520</b>

*Nota.* tabla de los volúmenes horarios de máxima demanda tomados en el proyecto, para este estudio se tuvo en cuenta la estación 5 que corresponde al tramo 2 de la calle 52 entre carrera 34 y carrera 33, Adaptado del proyecto de grado de Mayorga, Otero, 2019.

Con este valor del VHMD se tiene en cuenta para hallar el FHMD con ayuda del Q Max tomado de la figura 16, este dato fue tomado de *Mayorga, Otero, 2019*. Así mismo se puede obtener información de la congestión del tramo.

**Figura 16.**

*Flujo máximo en la estación 5 analizada.*



*Nota.* Grafico del flujo máximo del tramo 2 de la calle 52 entre carrera 34 y carrera 33, Adaptado del proyecto de grado de Mayorga, Otero, 2019.

Es posible obtener como valor de  $Q_{\max} = 513$ , permitiendo así realizar el siguiente calculo y hallar el FHMD del tramo 2.

$$FHMD = \frac{VHMD}{4 * Q_{max}} = \frac{1440}{4 * 513} = 0,701 \approx 0,70$$

Es de suma importancia entender que indica este valor de 0,7 en el FHMD, es un valor un poco mas arriba de la mitad de la unidad, lo que significa que no se representa del todo una distribución vehicular uniforme, sino que en ciertas horas del día los flujos máximos se tienden a concentrar en periodos cortos dentro de la hora.

Igual que en el tramo 1 de la carrera 27, tampoco es posible determinar NDS por el método del FHMD.

#### **4.2.3. NDS por Velocidades en el tramo 2 de cabecera.**

Los datos obtenidos de velocidad fueron tomados el presenta año, en el cual se tomaron las medidas en la hora mas critica que es de 12:00 pm a 1:00 pm, se realizaron por medio de la velocidad de punto y los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 19.**

*Velocidades Calle 52 entre carrera 34 y carrera 33.*

Velocidad	
Vel Max	31,62
Vel Min	5,45
rango	26,17
m	8,20
paso	3,19
N	150

*Nota.* Tabla de velocidad del tramo 2 de la calle 52 entre carrera 34 y carrera 33, datos tomados del aforo realizado para este proyecto.

Con los datos anteriores se hallan las frecuencias, estableciendo los intervalos con el punto medio y por ultimo se estima la frecuencia acumulada absoluta y relativa, esto para poder obtener información de los percentiles que caracterizan este tramo, en la *tabla 20* y *tabla 21* se observa los resultados obtenidos.

**Tabla 20.**

*Distribución de frecuencia Calle 52 entre carrera 33 y carrera 34.*

Numero de intervalos	intervalo de clase grupos		punto medio vi(Km/h)	frecuencia observada	
	Km/h			absoluta	relativa
				fi	(fi/n)*100
1	5,45	8,64	7	2	1,333
2	8,64	11,83	10	27	18,000
3	11,83	15,02	13	25	16,667
4	15,02	18,21	17	25	16,667
5	18,21	21,40	20	17	11,333
6	21,40	24,59	23	28	18,667
7	24,59	27,78	26	18	12,000
8	27,78	30,97	29	7	4,667
8,2	28,43	31,62	30	1	0,667

*Nota.* Tabla de frecuencias del tramo 2 de la calle 52 entre carrera 34 y carrera 33, datos tomados del aforo realizado para este proyecto.

Con la frecuencia observada se debe calcular la frecuencia acumulada tanto absoluta como relativa, con esta se puede relacionar la velocidad y graficar la percentil de la velocidad como se muestra en la *tabla 21*.

**Tabla 21.**

*Distribución de frecuencia Calle 52 entre carrera 33 y carrera 34.*

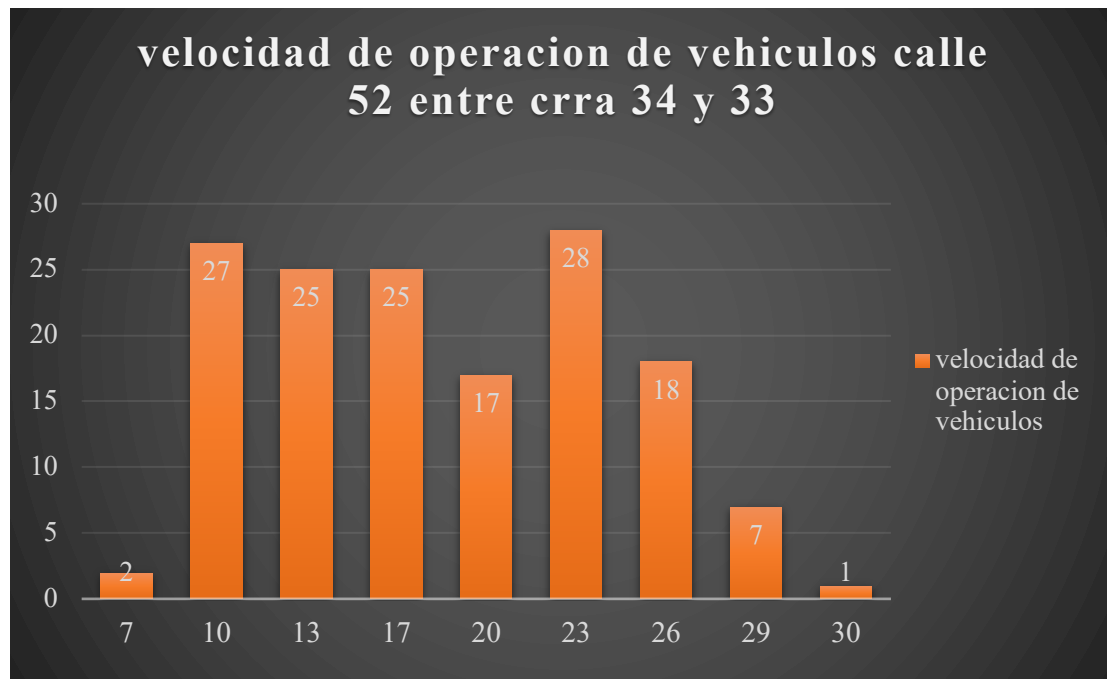
frecuencia acumulada		vi <sup>2</sup>	vi*frecuencia	f <sub>i</sub> *v <sub>i</sub> <sup>2</sup>
absoluta	relativa			
fi	(fi/n)*100			
2	1	50	14	99

29	19	105	276	3038
54	36	180	336	9732
79	53	276	415	21810
96	64	392	337	37659
124	83	529	644	65578
142	95	686	471	97381
149	99	863	206	128597
150	100	902	30	135231
			2729	499125

*Nota.* Tabla frecuencias acumuladas del tramo 2 de la calle 52 entre carrera 34 y carrera 33, datos tomados del aforo realizado para este proyecto.

**Tabla 22.**

*Histograma y polígono de frecuencias de velocidades punto.*



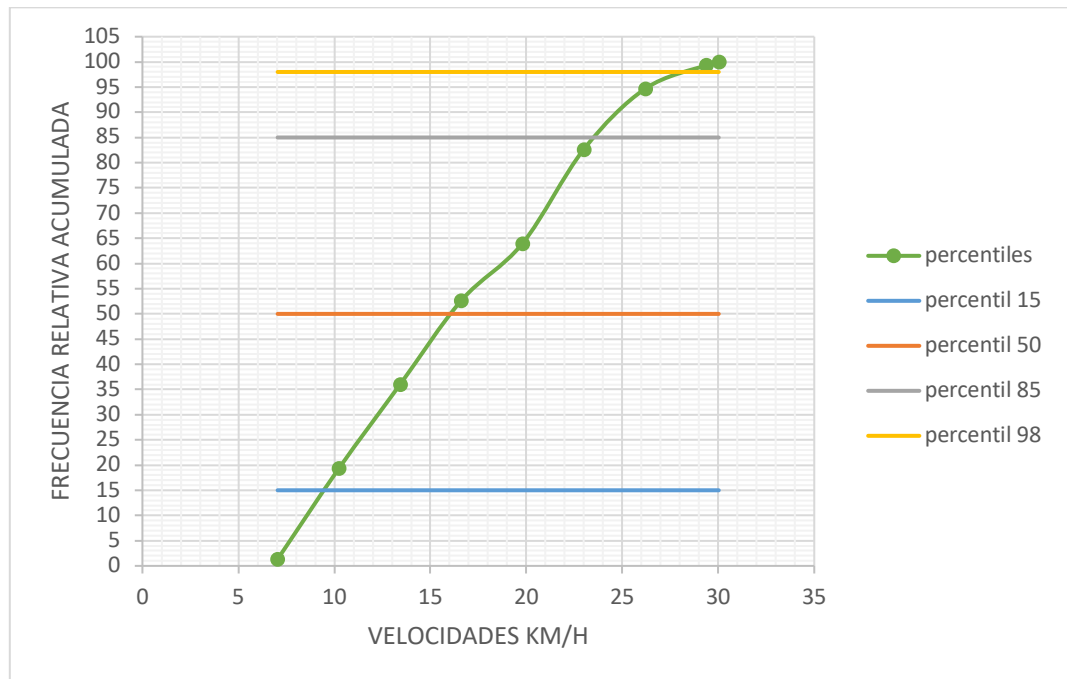
*Nota.* Grafico de velocidad de operación del tramo 2 de la calle 52 entre carrera 34 y carrera 33, datos tomados del aforo realizado para este proyecto.

Con ayuda de la anterior grafica de frecuencias acumulada vs velocidad, es posible hallar la velocidad de proyecto por medio de los percentiles.

La velocidad media de punto es la velocidad que se espera al azar que tenga un vehículo en el tramo estudiado sentido sur-norte.

### Figura 17.

*Percentiles de velocidad, Calle 52 entre carrera 34 y carrera 33.*



*Nota.* Gráfico de los percentiles de velocidad del tramo 2 de la calle 52 entre carrera 34 y carrera 33, datos tomados del aforo realizado para este proyecto.

- Limite inferior de velocidad (P15): 9,24 Km/h.
- Velocidad de medida de calidad del flujo vehicular (P50): 16,01 Km/h
- Velocidad de operación (P85): 23,54 km/h.
- Velocidad de proyecto (P98): 28,09 Km/h.

La velocidad de operación establecida es de 16,01 km/h , es necesario por medio de esta velocidad encontrar un valor para el NDS del tramo estudiado, teniendo en cuenta una FFS=45 Km/h.

**Tabla 23.**

*Niveles de servicio.*

Urban Street Class	I	II	III	IV
Range of free-flow speeds (FFS)	90 to 70 km/h	70 to 55 km/h	55 to 50 km/h	55 to 40 km/h
Typical FFS	80 km/h	65 km/h	55 km/h	45 km/h
LOS	Average Travel Speed (km/h)			
A	> 72	> 59	> 50	> 41
B	> 56-72	> 46-59	> 39-50	> 32-41
C	> 40-56	> 33-46	> 28-39	> 23-32
D	> 32-40	> 26-33	> 22-28	> 18-23
E	> 26-32	> 21-26	> 17-22	> 14-18
F	≤ 26	≤ 21	≤ 17	≤ 14

*Nota.* Tabla de Niveles de Servicio según la velocidad a flujo libre y la velocidad media tomada del grafico de percentiles, Adaptado del HCM 2000.

Teniendo un valor para la velocidad de 16,01 km/h la *tabla 23* indica que el tramo de la calle 52 entre carrera 34 y carrera 33 tiene una capacidad vial optima es decir que cuenta con un Nivel de Servicio E, cabe resaltar que la realidad en diferentes horas del día en este tramo no es exactamente la que se expone teóricamente mediante el método HCM2000, su capacidad vial notable es de un NDS que equivale a F. Se concluye que el NDS tipo E es coherente con la realidad observada

Igualmente existen unas recomendaciones para vías urbanas en sectores residenciales, comerciales y abiertas para los cuales, se establece que siendo esta una zona comercial el rango de velocidades que permitan buenos NDS, debe estar entre 24 y 48 Kilómetros/ hora, por lo cual el valor estimado de 16,01 está por debajo de estas recomendaciones

**Tabla 23.**

*Rangos de velocidades según la zona y la población de las ciudades*

Población (Número de habitantes)	Zona Comercial		Zona Residencial		Zona Abierta	
	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
10.000 a 25.000	24-56	24-56	32-56	32-56	40-96	40-96
25.000 a 50.000	24-40	24-32	32-56	32-48	56-72	56-72
50.000 a 100.000	24-40	24-40	32-48	32-48	48-64	48-64
100.000 o más	24-48	24-48	32-48	32-48	56-96	48-88

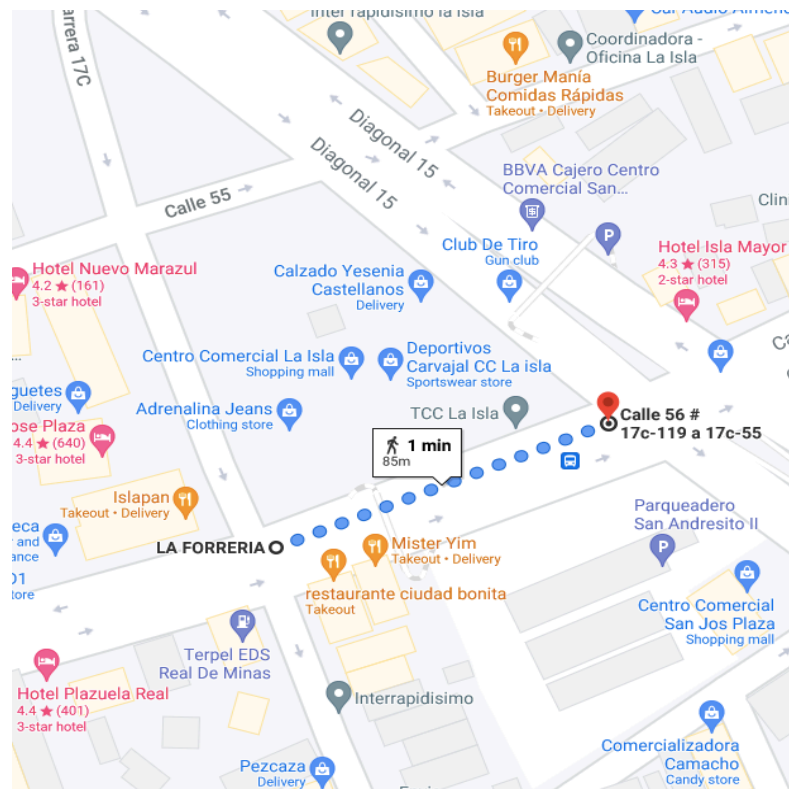
*Nota.* Tabla que establece la velocidad que debe tener un tramo según la zona y la población, Adaptado de Fundación ENO.

#### **4.3. Tramo vial de Diagonal 15 entre la calle 55 y la calle 56.**

El último tramo a determinar y comparar es el tramo de la diagonal 15 entre calle 55 y calle 56 sentido norte-sur, siendo el tramo con más congestión según el estudio hecho por Mariño js, su ubicación se encuentra a continuación en la *figura 19*, este tramo es considerado uno de los tramos principales para ir del norte al sur del área metropolitana, conecta con calles principales como lo es la 56, siendo esta una de las calles más transitadas en esta zona de Bucaramanga.

**Figura 18.**

*Ubicación del tramo vial, entre del tramo 3.*



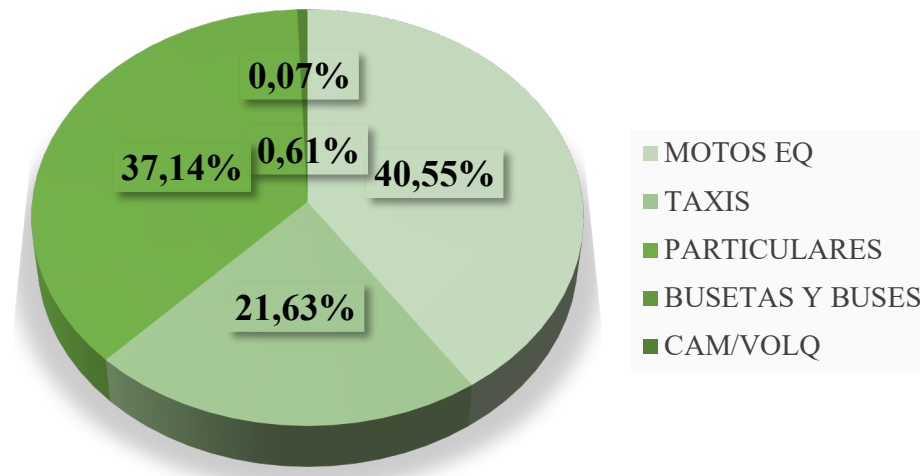
*Nota.* Ubicación del tramo de la diagonal 15 entre calle 55 y calle 56, adaptado de Google Maps.

#### **4.3.1 Composición Vehicular**

Con el aforo realizado por Meza, Angie, 2019, se logró obtener la siguiente información de la composición vehicular del tramo 3, de la diagonal 15 entre calle 55 y calle 56, permitiendo llevar a cabo el análisis de los resultados.

**Figura 19.**

*Composición Vehicular, del tramo 3.*



*Nota.* Gráfico de la composición vehicular del tramo 3 de la diagonal 15 entre calle 55 y calle 56, adaptado de Meza, Angie, 2019.

Cabe resaltar que esta calle tiene tan solo un sentido en el cual circulan los vehículos, y es de gran utilidad para todos los usuarios.

#### ***4.3.2 Factor Horario de Máxima Demanda tramo 3 diagonal 15.***

Para hallar el FHMD es necesario tener en cuenta el valor del Volumen Horario de Máxima Demanda en los 15 minutos con mayor congestión, tomando así los valores obtenidos en el trabajo de grado de Meza, Angie 2019. El estudio realizado se hizo para una manzana completa, con 6 estaciones y una estación maestra, para mejores resultados del

presente proyecto se tomo como referencia la estación 1, en donde se muestra el valor del VHMD en la *tabla 24*.

**Tabla 24.**

*VHMD en la estación 1, diagonal 15 entre calle 55 y 56.*

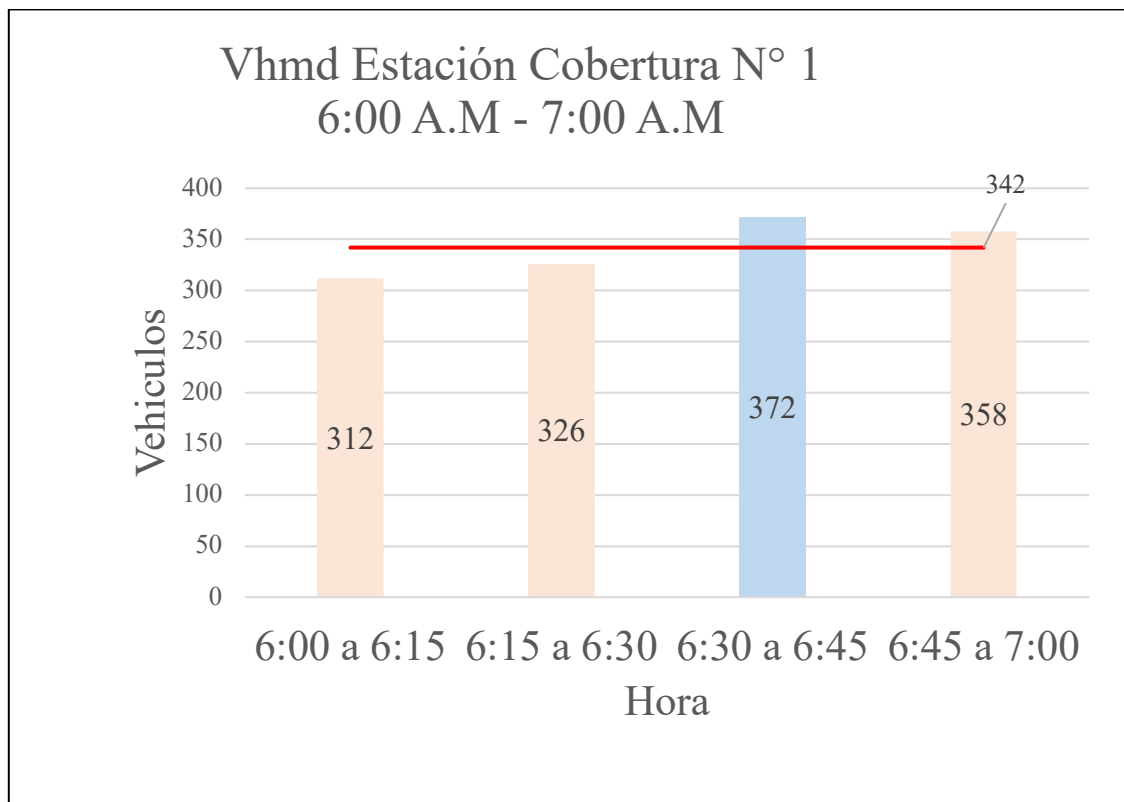
<b>Indicadores Importantes De Congestión En Estaciones De Cobertura Para Fijar Nds</b>	
<b>Estación</b>	<b>Vhmd</b>
1	1368
2	131
3	846
4	712
5	546
6	842
<b>Estación maestra</b>	<b>1843</b>

*Nota.* Tabla de los volúmenes horarios de máxima demanda para la estación 1 que corresponde al tramo 3 de la diagonal 15 entre calle 55 y calle 56, adaptado de Meza, Angie, 2019.

Seguidamente, teniendo en cuenta el VHMD que se tiene para este tramo, el cual es de 1358 vehículos mixtos/hora y con el dato de  $Q_{max}$ , se procede a calcular el valor del FHMD para este tramo, toda la información al respecto fue tomada de *Meza, Angie, 2019*.

**Figura 20.**

*Flujo máximo Diagonal 15 entre 55 y 56*



*Nota.* Grafico del flujo máximo del tramo 3 de la diagonal 15 entre calle 55 y calle 56, adaptado de *Meza, Angie, 2019*.

Entonces para esto se obtiene que el  $Q_{m\acute{a}x} = 372$ , el cual es solicitado para encontrar el FHMD que se muestra a continuación.

$$FHMD = \frac{VHMD}{4 * Q_{max}} = \frac{1368}{4 * 372} = 0,919 \approx 0,90$$

Es de suma importancia entender lo que significa este valor de 0,90, recordando que el FHMD tiene un intervalo de 0 a 1, el valor obtenido indica que el flujo vehicular es estable y uniforme dentro del periodo de una hora, es de notar que este valor no se relaciona directamente con la realidad, siendo un tramo en el que se presentar grandes concentraciones de flujo en periodos menores a la hora.

#### 4.3.3. NDS por Velocidades tramo 3, diagonal 15

Los datos obtenidos de velocidad fueron tomados el presenta año, en el cual se tomaron las medidas en la hora mas critica que es de 6:00 am a 7:00 am, se realizaron por medio de la velocidad de punto y los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 25.**

*Velocidades Diagonal 15 entre calle 55 y 56.*

Velocidad	
Vel Max	80,92
Vel Min	20,52
rango	60,40
m	8,20
paso	7,36
N	150

*Nota.* Tabla de velocidades del tramo 3 de la diagonal 15 entre calle 55 y calle 56, adaptado de Meza, Angie, 2019.

Con los datos anteriores se hallan las frecuencias, estableciendo los intervalos de clase con el su punto medio y así se estima la frecuencia acumulada tanto absoluta como relativa.

**Tabla 26.**

*Distribución de frecuencia Calle 52 entre carrera 33 y carrera 34.*

Numero de intervalos	intervalo de clase grupos		punto medio vi(Km/h)	frecuencia observada	
	Km/h			absoluta	relativa
				fi	(fi/n)*100
1	20,52	27,88	24	2	1,3
2	27,88	35,24	32	5	3,3
3	35,24	42,61	39	28	18,7
4	42,61	49,97	46	37	24,7
5	49,97	57,33	54	25	16,7
6	57,33	64,70	61	22	14,7
7	64,70	72,06	68	16	10,7
8	72,06	79,43	76	10	6,7
8,2	73,56	80,92	77	5	3,3

*Nota.* Tabla de velocidades observadas del tramo 3 de la diagonal 15 entre calle 55 y calle 56, datos tomados por medio de aforo para el presente proyecto.

Al obtener la frecuencia observada, se procede a hallar o calcular la frecuencia acumulada tanto absoluta como relativa, permitiendo así obtener los percentiles de velocidad, a continuación se muestra la *tabla 27*, los diferentes valores de la velocidad y la frecuencia.

**Tabla 27.**

*Distribución de frecuencia diagonal 15 entre calle 55 y calle 56.*

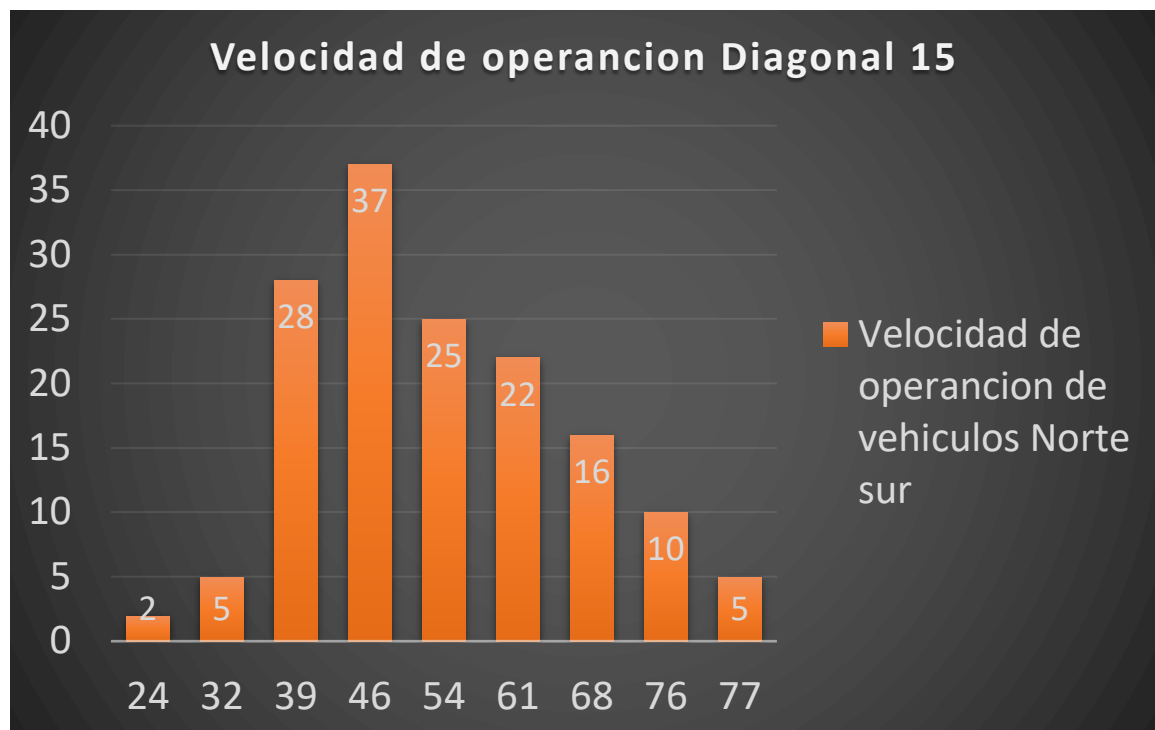
frecuencia acumulada		vi <sup>2</sup>	vi*frecuencia	f <sub>i</sub> *v <sub>i</sub> <sup>2</sup>
absoluta	relativa			
fi	(fi/n)*100			
2	1	586	48	1171
7	5	996	158	6973
35	23	1515	1090	53032

72	48	2143	1713	154273
97	65	2879	1341	279227
119	79	3723	1342	443039
135	90	4676	1094	631241
145	97	5737	757	831887
150	100	5966	386	894875
			7930	3295717

*Nota.* Tabla de velocidades acumulada del tramo 3 de la diagonal 15 entre calle 55 y calle 56, datos tomados por medio de aforo para el presente proyecto.

**Figura 21.**

*Histograma y polígono de frecuencias de velocidades punto.*

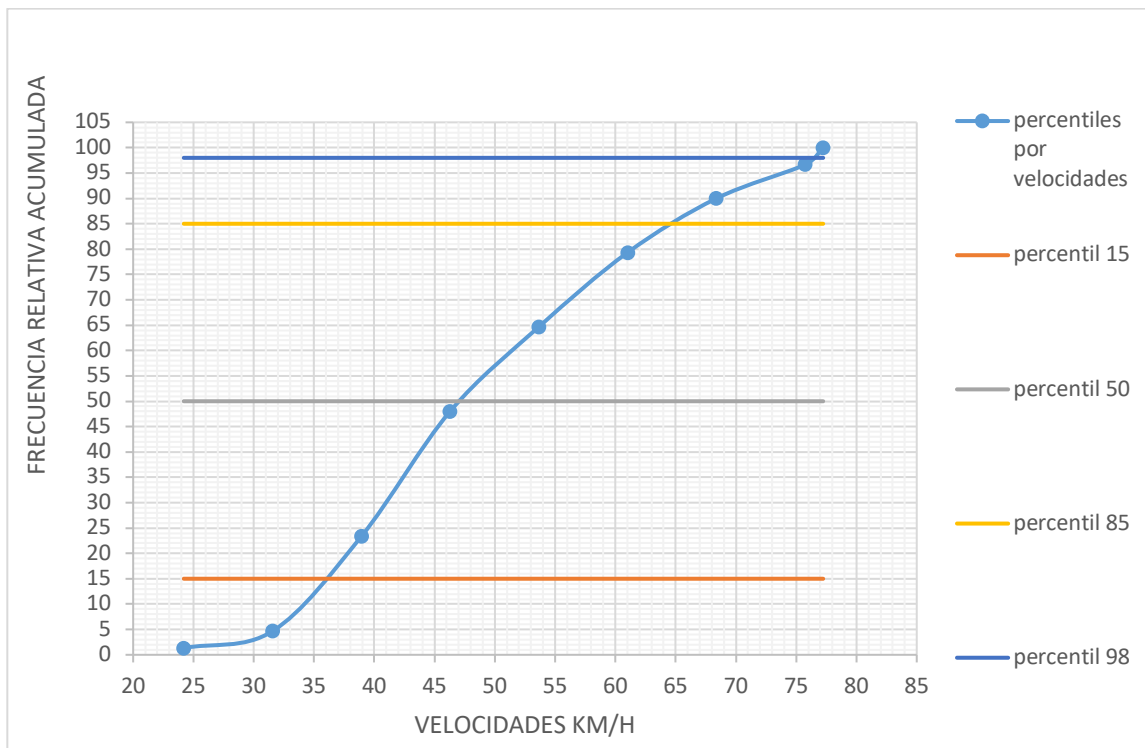


*Nota.* Gráfico de velocidades de operación del tramo 3 de la diagonal 15 entre calle 55 y calle 56, datos tomados por medio de aforo para el presente proyecto.

Como se dijo anteriormente con la tabla 27. Se grafica la frecuencia acumulada vs la velocidad, luego de esto se hallan los diferentes percentiles, 15, 50, 85, 98. En la grafica se especifica el color que diferencia cada uno de los percentiles, permitiendo así encontrar la velocidad media, la velocidad de operación entre otras, así mismo se procede a comparar la velocidad media con los rangos establecidos según el HCM 2000.

**Figura 22.**

*Percentiles de velocidad, Diagonal 15 entre calle 55 y 56.*



*Nota.* Gráfico de percentiles velocidades del tramo 3 de la diagonal 15 entre calle 55 y calle 56, datos tomados por medio de aforo para el presente proyecto.

- Límite inferior de velocidad (P15): 36,20 Km/h.
- Velocidad de medida de calidad del flujo vehicular (P50): 47,56 Km/h

- Velocidad de operación (P85): 64,57 km/h.
- Velocidad de proyecto (P98): 76,84 Km/h.

La velocidad media establecida es de 47,56 km/h , es necesario por medio de esta velocidad encontrar un valor para el NDS del tramo estudiado, teniendo en cuenta que esta es una vía urbana tipo IV con un FSS=55 Km/h.

**Tabla 28.**

*Niveles de servicio rangos de velocidad HCM 2000.*

Urban Street Class	I	II	III	IV
Range of free-flow speeds (FFS)	90 to 70 km/h	70 to 55 km/h	55 to 50 km/h	55 to 40 km/h
Typical FFS	80 km/h	65 km/h	55 km/h	45 km/h
LOS	Average Travel Speed (km/h)			
A	>72	>59	>50	>41
B	>56-72	>46-59	>39-50	>32-41
C	>40-56	>33-46	>28-39	>23-32
D	>32-40	>26-33	>22-28	>18-23
E	>26-32	>21-26	>17-22	>14-18
F	≤ 26	≤ 21	≤ 17	≤ 14

*Nota.* Tabla de Niveles de Servicio según la velocidad a flujo libre y la velocidad media tomada del grafico de percentiles, Adaptado del HCM 2000.

Teniendo un valor para la velocidad de 47,56 km/h la tabla 14 indica que el tramo de la diagonal 15 tiene una capacidad vial optima es decir que cuenta con un Nivel de Servicio B, Es de entender que por ser estas velocidades de tipo puntual pueden establecer buenos

NDS en ciertos momentos debido a que estos tienen características del flujo vehicular, de tipo dinámico y periódicos para ciertos minutos de la hora de máxima demanda.

Lo que se observa en el sector es que los NDS son muy variables debido a diferentes circunstancias, como la falta de control del tránsito por el mal comportamiento de los conductores, el propio volumen de tráfico, el flujo deficiente por la calle 56, las intersecciones semaforizadas y la deficiencia en la capacidad vial

Se concluye que los niveles de congestión son altos y pudieran ser F en ciertos momentos de la hora de máxima demanda.

No obstante, observando la recomendación que da la Fundación ENO y siendo esta una zona comercial el valor de 47.56 está dentro del rango, para ciertos momentos muy escasos de la hora de máxima demanda.

La realidad observada en periodos largos es que las velocidades están entre 0 y 14 kilómetros/hora, lo que permite concluir que el NDS es de tipo F o peor.

**Tabla 29.**

*Rangos de velocidades según la zona y la población de las ciudades*

Población (Número de habitantes)	Zona Comercial		Zona Residencial		Zona Abierta	
	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
10,000 a 25,000	24-56	24-56	32-56	32-56	40-96	40-96
25,000 a 50,000	24-40	24-32	32-56	32-48	56-72	56-72
50,000 a 100,000	24-40	24-40	32-48	32-48	48-64	48-64
100,000 o más	24-48	24-48	32-48	32-48	56-96	48-88

*Nota.* Tabla que establece la velocidad que debe tener un tramo según la zona y la población,

Adaptado de Fundación ENO.

## 5. Resultados

Los resultados obtenidos de los diferentes NDS para los tres tramos viales históricos analizados se muestran en la tabla 29.

**Tabla 30.**

*Comparación de FHMD y Velocidad en cada tramo.*

TRAMO VIAL	FHMD	VELOCIDAD	NDS
1	0,95	26,45	D

2	0,7	16,01	E
3	0,9	47,56	B

*Nota.* Tabla de resultados en donde se observa el FHMD, la velocidad y el NDS para cada uno de los tramos analizados.

A continuación, se muestra una tabla en la que se da un rango de FHMD y Velocidades que dan como resultado un NDS determinado, para lo que las velocidades obtenidas coinciden con los resultados obtenidos.

**Tabla 31.**

*comparación de FHMD y Velocidades.*

Rangos Velocidad		Rangos	FHMD	NDS
MAYORES 48		0,91	1	A
37	48	0,71	0,91	B
27	37	0,51	0,71	C
17	27	0,41	0,51	D
14	17	0,31	0,41	E
MENORES 14		0	0,31	F

*Nota.* Tabla comparativa el FHMD, la velocidad y el NDS, tomada del proyecto de grado de Meza, Angie, 2019.

La tabla anterior, ha sido calculada con base en una interacción de cifras de rangos entre los rangos de velocidades para distintos niveles de servicio según el HCM 2000 y el comportamiento de los factores de máxima demanda desde 0 hasta 1.0

Esta tabla anterior merece una mejor investigación dado que los NDS son de distinto comportamiento según la velocidad a flujo libre para diferentes sectores de una ciudad

A continuación, se muestra en la *tabla 32*. La comparación en la que se relacionan el FHMD y la Velocidad media del tramo, generando así entender cómo influyen estos dos aspectos en la capacidad vial de una vía.

**Tabla 32.**

*Comparación de FHMD y velocidad.*

Tramo	FHMD	Velocidad	comparación
	0,95	26,45	
tramo 1	el valor del FHMD para el tramo 1, indica que el flujo vehicular se mantiene distribuido uniformemente y no se presenta congestión alguna en periodos cortos dentro de la hora.	Esta velocidad indica que el flujo de vehículos es relativamente lento, permite entender que la vía podría llegar a congestionarse muy probablemente, dado que la velocidad a flujo libre se supuso de 65km/h, por ser una vía urbana con altos volúmenes horarios.	Al comparar el FHMD y la velocidad se puede observar que no concuerdan los resultados obtenidos, dado que con una velocidad baja podría llegar a obtener congestiones alta, todo lo contrario indica el FHMD que se aproxima a la unidad.
calle 52	0,7	16.01	comparación

	el valor del FHMD para el tramo 2, indica que el flujo vehicular presenta concentraciones de flujos máximos en periodos cortos de 15 minutos, lo que permite entender que se puede llegar a presentar congestión en el tramo.	La velocidad en el tramo 2 tiene un valor bastante bajo, indicando que se da de congestiones altas en el tramo, presentando trancones y demoras en el tránsito	el valor de la velocidad al compararlo con el FHMD, se puede observar que la velocidad indica que el flujo es lento y se presentan demoras en el tránsito de vehículos, en cambio el FHMD quiere decir que la vía estaría a punto de tener congestión y flujos lentos vehiculares.
diagonal 15	0,9	47.56	comparación
	Un valor cercano a 1 permite entender que el tramo no cuenta con congestión alguna y que los flujos se distribuye uniformemente en cada periodo de 15 minutos de la hora de máxima demanda	para una vía urbana esta velocidad quiere decir que el flujo de tránsito es bueno y que se presenta movilidad en el tramo, permite comprender los tiempos en recorrer este tramo son pequeños, generando así velocidades medias para una vía urbana	estos dos valores de FHMD y velocidad del tramo coinciden dado que ambos indican que no existe congestión alguna y que se presenta buena movilidad y poca congestión en el tránsito, los dos valores permiten asumir que el tramo no presenta trancones ni demoras .

*Nota.* Tabla comparativa entre el FHMD, la velocidad y el NDS para cada uno de los tramos analizados.

Para establecer una relación gráfica entre los FHMD y la velocidad de operación, es necesario sacar un promedio entre sus rangos, a continuación se muestra los valores de velocidad y FHMD promedio que se calcularon.

**Tabla 33.***Velocidad y FHMD promedio .*

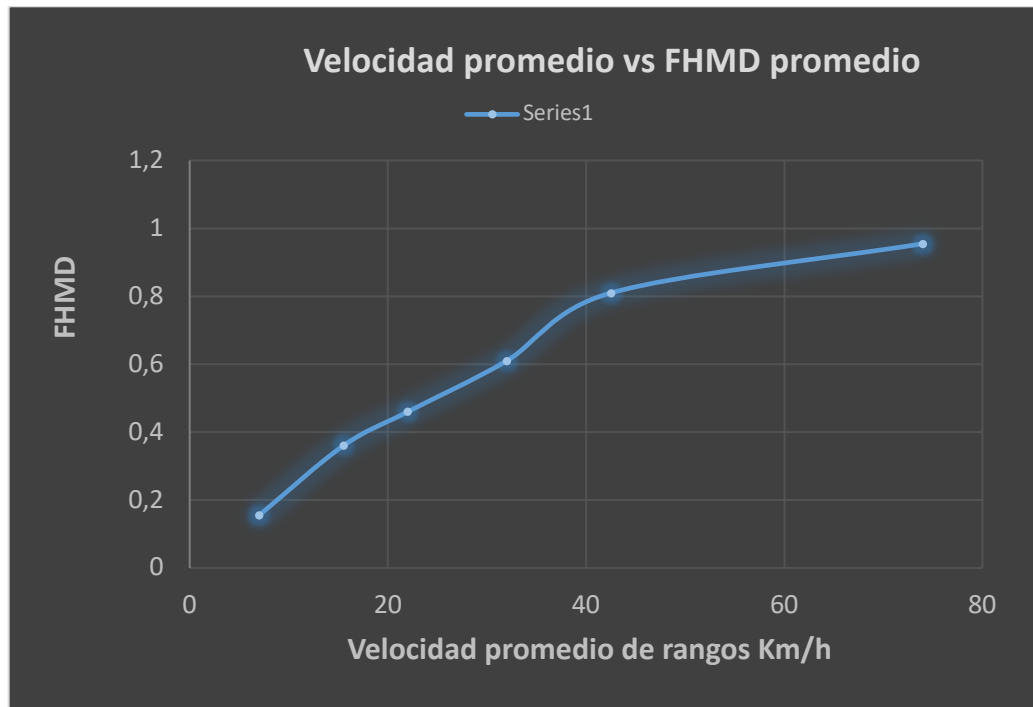
Velocidad promedio	FHMD promedio
74	0,955
42,5	0,81
32	0,61
22	0,46
15,5	0,36
7	0,155

*Nota.* Tabla de resultados en donde se observa el FHMD, la velocidad promedio tomados de la tabla 31.

Se procede a graficar los valores promedio representados en la figura 8. Donde se puede observar la relación que existe entre la velocidad y el FHMD, a medida que aumenta la velocidad el valor del FHMD tiende a 1.

**Figura 23.**

*Relación Gráfica de la velocidad con el FHMD .*



*Nota.* Gráfico realizado para este proyecto en donde se observa la relación entre el FHMD y la velocidad promedio.

En las siguientes imágenes se puede observar la relación entre la realidad y los resultados del NDS para cada tramo, en lo que se considera existe gran diferencia en algunos tramos, considerando así realizar estudios mas a fondo para comprobar y verificar la capacidad que realmente se presenta.

**Figura 24.**

*Comparación visual de la capacidad de nivel de servicio tramo2. A la derecha el tramo 2 en la realidad y a la izquierda el resultado del nivel de servicio que se halló para el tramo 2*

*por velocidades (NDS E)*



*Nota.* Visualización comparativa de los NDS por medio de una imagen real y la imagen del NDS obtenido como resultado.

*Figura 25.*

*Comparación visual de la capacidad de nivel de servicio del tramo 3. A la derecha el tramo 2 en la realidad y a la izquierda el resultado del nivel de servicio que se halló para el tramo 3 por velocidades (NDS B)*



*Nota.* Visualización comparativa de los NDS por medio de una imagen real y la imagen del NDS obtenido como resultado.

## 6. Conclusiones

- Se analizaron los tres tramos viales escogidos permitiendo determinar resultados de los FHMD y las velocidades en cada percentil, para cada uno de estos, en general los FHMD no determinan NDS, debido a que estos lo que indican es que cuando tienden a cero, existen concentraciones altas de flujo vehicular presagiando posibles congestiónamiento, que pueden ser NDS tipo E o F.
- Para el tramo de la carrera 27 entre avenida la rosita y calle 36, se estimó el NDS por medio del método HCM 2000 y 2010, por medio de la densidad de la vía, con el fin de corroborar el resultado que se da por velocidades. Cabe resaltar que este procedimiento no es del todo acertado, dado que esta vía es tan solo una vía urbana y no una autopista como se supone al momento de hacer el cálculo por esta metodología. Pero aun así los valores de NDS obtenidos por este método se asemejan mas a la realidad del funcionamiento de la vía, se obtuvieron valores de NDS de E, permitiendo entender que sus valores de velocidad son menores se encuentran entre 22- 28 Km/h.
- Se determinaron los NDS por medio de las velocidades medias halladas, basado en la metodología del HCM 2000 Y HCM 2010 y se compararon debidamente con los FHMD para cada tramo estudiado.
- Al comparar las velocidades con los FHMD se pudo observar que velocidades mayores a 48 indican tener un FHMD entre 0.91 y 1, lo que permite concluir que este tipo de resultados se relaciona con velocidades mayores.

- Se hallaron rangos entre velocidades y FHMD según los diferentes tipos de capacidad vial que se presentan, teniendo en cuenta la metodología establecida por el HCM 2000 y HCM 2010.
- Los datos históricos tomados fueron realizados en tiempos antes de pandemia COVID-19 y se presume que el tráfico estaba en su normalidad; los valores de velocidad en el tramo de la calle 52 y la diagonal 15 fueron tomados para mediados de este año, dado que no se presentaba información alguna en estos tramos sobre los mismos, cabe aclarar que las condiciones del tráfico no han cambiado de forma relevante, dado que la normalidad se viene dando desde el mes de julio, por lo que los datos pueden tener el mismo comportamiento antes de la pandemia, cuando se tomaron las tres muestras históricas, frente a los datos después de la pandemia, por lo que no se han de ver afectados los resultados de este proyecto, en periodos de tiempo y circunstancias aproximadamente iguales.
- En general se observó que al aplicar el HCM 2000 y 2010, usando velocidades para el tramo 3 de la diagonal 15 presentan resultados alejados de la realidad, (NDS tipo B), esto es debido a que los NDS son dinámicos y periódicos dentro del valor de la hora de máxima demanda, cuando la información parte del estudio de velocidades de punto, en un tramo de flujo discontinuo por la presencia de semáforos.
- Es posible afirmar que el FHMD es un buen indicador de probable congestión ya que por medio del  $q$  máximo se pueden verificar esos probables congestionamientos que son dinámicos.

- Se observó que el método más sencillo para determinar los NDS es por el método de la velocidad de los vehículos teniendo en cuenta el flujo libre.
- La aplicación del presente estudio es compleja en circunstancias anormales del tráfico y de la deficiencia de especificaciones técnicas de nuestras vías y el mal uso que se da por parte del usuario.
- La observación visual subjetiva frente al cálculo real de los NDS, permite comparar los resultados, debido a que no siempre dan iguales, por el comportamiento dinámico y periódico y por la percepción del usuario de la vía.
- Los tramos escogidos para el análisis y estudio del presente proyecto se tomaron de tres proyectos viales aprobados, contando con datos históricos recientes de la ciudad de Bucaramanga. Los datos fueron tomados en diferentes horas del día, priorizando las horas de máxima demanda dependiendo el tramo.

## 7. Recomendaciones

- Dada la metodología aplicada con sus variables pertinentes y generalmente hecha para características del sistema vial americano, urge la estructuración de un manual colombiano robusto, que contemple análisis operacionales, de proyecto y de planeamiento de nuestro sistema vial de características propias. Si bien es cierto que se están desarrollando investigaciones para actualizar el manual de Invias del año 2008, no hay hasta la fecha un manual completo que refiera temas de capacidad vial y de NDS para autopistas, vías rápidas y vías urbanas, con flujos continuos y discontinuos teniendo que acudir a los manuales HCM. Dentro de la investigación realizada solo se encontró un manual para carreteras de carriles múltiples y un manual de carreteras de dos carriles del año 2020, que aun no se han aplicado y por lo tanto no se conoce su funcionamiento.
- La experiencia de la aplicación del presente estudio permite recomendar la continuación de la investigación, con aplicación de datos de campo para vías urbanas y rurales. Esto permitirá generar resultados que puedan ser comparativos.
- Las actualizaciones del manual de capacidad HCM (2000 y 2010) no tienen ya en cuenta el factor de conductores normales, lo cual afecta el NDS, en nuestras medio. En nuestras vías urbanas y rurales es dado encontrar conductores “anormales” que por conducir mal afectan la capacidad de la vía. Esto permite recomendar para Colombia la inclusión de este factor tal y como lo determinó el buen criterio el HCM 94, que incluyo el factor de conductores habituales de un día de trabajo, asunto que se ve mucho en nuestro medio, afectando la capacidad de la vía.

- Se recomienda el buen comportamiento de conductores en la vía, una nueva reglamentación de pico y placa, desestimulo al uso del vehículo particular y estímulo al uso del transporte colectivo y la bicicleta, de tal manera que permita la aplicación de investigaciones en medios normales y no en medios caóticos donde se observan y se sienten niveles de servicio peores que F, y donde las velocidades son bajas y difíciles de estimar (entre 0 y 14 Kilómetros/hora).
- La presente investigación permite recomendar la experiencia encontrada frente a los NDS para que las tengan en cuenta las autoridades de tránsito, debido a que, en la propuesta, se colocó como entidad interesada.
- Establecer las razones es por las cuales se dan los malos NDS en Bucaramanga.  
Ejemplo: Estacionamiento de vehículos en la vía pública.

### Referencias.

Cal, Mayor, Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones, 2018, edición 9, Alfaomega.

Cerquera, Flor Ángela, CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO PARA LA INFRAESTRUCTURA VIAL, TRANSPORTE Y VIAS, 2007, UPTC, Tunja.

Marino, Rodríguez, Determinación de niveles de servicio mediante un análisis comparativo entre los FHMD y las velocidades de operación en el tramo vial de la carrera 27 entre avenida la rosita y la calle 36, 2019, Universidad Industrial de Santander.

Mayorga, Otero, Análisis del impacto de tráfico en el sector de cabecera del llano y sus zonas de afluencia más importantes, 2019, Universidad Industrial de Santander.

Meza, Angie, Análisis del impacto de tráfico en el centro comercial San Andrésito la isla y sus zonas aledañas de influencia más importantes, 2019, Universidad Industrial de Santander.

Ministerio de Transporte, INVIAS, Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles, tercera edición, Colombia, 2020.

Ministerio de Transporte, INVIAS, Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril, primera edición, Colombia, 2020.

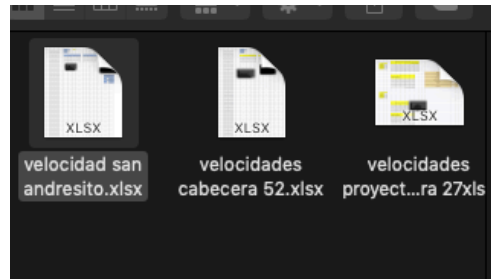
Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. National Research Council, Washington, D.C., 2010.

Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. National Research Council, Washington, D.C., 2000.

Vesga, Y, Rangel, L, Análisis comparativo para la determinación de niveles de servicio de la autopista Bucaramanga-Piedecuesta usando los métodos HCM 94, HCM 2000 y HCM 2010, Mediante el diagnostico de tres tramos viales, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Civil, Tesis(Pregrado), 2020.

## Apéndices

**Apéndice A.** Hojas de Cálculo de la velocidad para los tres tramos viales escogidos.



**Apéndice B.** Artículos de los tres proyectos tomados para la elaboración de este proyecto.

