

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL HCM 94, HCM 2000 Y MANUAL DE
CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES,
MEDIANTE UN ESTUDIO DE CASO EN EL TRAMO DESDE LA INTERSECCIÓN
VIAL QUE CONDUCE AL CEMENTERIO LAS COLINAS HASTA EL PUENTE
QUE CONDUCE AL CENTRO COMERCIAL CACIQUE DE LA VÍA ANTIGUA
BUCARAMANGA-FLORIDABLANCA.

MAYRA ALEJANDRA OLIVERO RIVERA
KARINA PAOLA OSPINO SUÁREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2019

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL HCM 94, HCM 2000 Y MANUAL DE
CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES,
MEDIANTE UN ESTUDIO DE CASO EN EL TRAMO DESDE LA INTERSECCIÓN
VIAL QUE CONDUCE AL CEMENTERIO LAS COLINAS HASTA EL PUENTE
QUE CONDUCE AL CENTRO COMERCIAL CACIQUE DE LA VÍA ANTIGUA
BUCARAMANGA-FLORIDABLANCA.

MAYRA ALEJANDRA OLIVERO RIVERA
KARINA PAOLA OSPINO SUÁREZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR
LUIS DAVID ARÉVALO DURAN
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE TRÁNSITO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento importante de mi vida, por darme las capacidades y las habilidades necesarias para culminar con esta etapa.

A mis padres, Leudis Suárez Fontalvo y Carlos Ospino Truyol, quienes me apoyaron económicamente a cumplir este sueño, pero mucho mas importante, quienes me motivaron todos los días a querer lograrlo.

Dos personas maravillosas que creyeron en mí, incluso más de lo que yo misma lo hacía.

Muchas gracias a ellos por hacer posible que estos años sucedieran de la mejor manera posible.

A mi hermana mayor, Sandra Paola Ospino Suárez, quien siempre ha representado una guía para mí, por inculcarme el valor de la responsabilidad y la dedicación. Muchas gracias por ser mi apoyo incondicional.

A todos ellos, gracias por sentirse orgullosos de mí.

Karina Paola Ospino Suárez

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por permitirme culminar este logro de manera satisfactoria, por darme la fortaleza y sabiduría necesaria para emprender cada etapa de mi vida. Sin Él, esto no habría sido posible.

A mi padre, Milton Olivero Carballo, por confiar en mí y brindarme su total e incondicional apoyo a pesar de todas las adversidades. Gracias, aunque muchas veces lo vi imposible, él siempre confió en mí.

A mis hermanas María Fernanda, Mónica Liliana y María José, por ser mi apoyo y estar a mi lado en toda circunstancia. No sé qué sería de mi vida sin ustedes.

A mi madre, quien hoy no se encuentra aquí junto a nosotros. Sé que desde el cielo celebras conmigo este nuevo paso, gracias por confiar y por creer en mí en todo momento. Aunque te extraño, siempre estás presente.

Los amo con todo mi corazón. Son el mejor regalo de Dios y la vida.

Mayra Alejandra Olivero Rivera

AGRADECIMIENTOS

Se hace imprescindible agradecer a nuestra futura alma máter por contar con una excelente planta académica, quienes con el paso de los años nos fueron transmitiendo grandes saberes, para formar las profesionales que mañana seremos.

Muchas gracias a nuestro director de proyecto, Luis David Arévalo, quien nos orientó en este proceso con dedicación y gran disposición.

A nuestros padres, por brindarnos todo el apoyo que siempre necesitamos y por creer siempre en nosotras.

A los compañeros que nos topamos en el camino, que hicieron parte de este largo y entretenido proceso.

Gracias.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS.....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. MARCO TEÓRICO	21
3. METODOLOGÍA	54
3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	55
3.2.1 Características de la vía.....	55
3.2.2 Datos de tránsito.....	57
3.2.3 Estudio de velocidades.	65
3.3 CLASIFICACIÓN VIAL.....	69
3.4 CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO CON BASE EN EL MANUAL DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO DE CARRETERAS DE DOS CARRILES ..	70
3.5 CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO CON BASE EN EL HCM-94	74
3.6 NIVEL DE SERVICIO CON BASE EN EL HCM-2000	79
4. ANALISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	83
5. CONCLUSIONES	86
6. RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA.....	90

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribución de frecuencia de velocidad de punto.....	27
Tabla 2. Factor de corrección a la capacidad por pendiente (Fpe)	30
Tabla 3. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Fd)	31
Tabla 4. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (Fcb)	31
Tabla 5. Factores de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Fp)	32
Tabla 6. Factores de pico horario basados en periodos de cinco minutos suponiendo llegadas de vehículos aleatorias (FPH)	33
Tabla 7. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes (Vi)	34
Tabla 8. Factores de corrección al nivel de servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (fu).....	34
Tabla 9. Factores de corrección al nivel de servicio por el estado de la superficie de rodadura (fsr)	35
Tabla 10. Factores de corrección al nivel de servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (fcb).....	36
Tabla 11. Factores de corrección al nivel de servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (f _{p1}).....	37
Tabla 12. Factores de corrección por la presencia de vehículos pesados (f _{p2}).....	37
Tabla 13. Velocidad máxima que permite la curva más cerrada del sector (V _c) ...	38
Tabla 14. Velocidades en km/h que determinan los niveles de servicio por tipo de terreno.....	39

Tabla 15. Factor de ajuste del reparto por sentidos en tramos de características geométricas normales.....	40
Tabla 16. Factores de ajuste para el efecto combinado de la anchura de los carriles y arcenes. f_A	41
Tabla 17. Niveles de servicio para tramos de carreteras de dos carriles de características geométricas normales. Valores de la relación l/c	42
Tabla 18. Equivalentes en vehículos ligeros de camiones, vehículos de recreo y autobuses para carreteras de dos carriles en tramos de condiciones geométricas normales.....	43
Tabla 19. Factores de hora punta para carretera de dos carriles basados en circulación aleatoria.	44
Tabla 20. Resumen de las clases de carreteras de dos carriles.....	45
Tabla 21. Densidad de puntos de acceso por defecto.	46
Tabla 22. Factor de ajuste de pendiente f_G para determinar la velocidad en dos sentidos y en segmentos direccionales.....	47
Tabla 23. Factor de ajuste de pendiente f_G para determinar el porcentaje del tiempo dedicado a avanzar en dos sentidos y en segmentos direccionales.	47
Tabla 24. Vehículos equivalentes para camiones y vehículos recreativos RVs para determinar la velocidad en ambos sentidos.	48
Tabla 25. Vehículos equivalentes para camiones y vehículos recreativos- RVs para determinar el porcentaje de tiempo dedicado a avanzar en ambos sentidos.....	48
Tabla 26. Factor de ajuste f_{LS} para ancho de carril y ancho de berma.	50
Tabla 27. Factor de ajuste f_A para densidad de puntos de acceso.	50
Tabla 28. Ajuste (f_{np}) para efecto de zonas de no rebase en la velocidad media de viaje, para flujo en ambas direcciones.	51
Tabla 29. Ajuste para el efecto combinado de distribución direccional de tráfico y porcentaje de zonas de no rebase.	52

Tabla 30. Criterios básicos para la clasificación de nivel de servicio para carreteras clase II.....	53
Tabla 31. Valores de pendiente tomadas en campo	56
Tabla 32. Volumen horario 17:00-19:00 del 23/05/2019	58
Tabla 33. Volumen horario de máxima demanda 23/05/2019.....	58
Tabla 34. Volumen horario 17:00-19:00 del 24/05/2019	59
Tabla 35. Volumen horario de máxima demanda 24/05/2019.....	59
Tabla 36. Volumen horario 17:00-19:00 del 25/05/2019	59
Tabla 37. Volumen horario de máxima demanda 25/05/2019.....	60
Tabla 38. Volumen horario 17:00-19:00 del 26/05/2019	60
Tabla 39. Volumen horario de máxima demanda 26/05/2019.....	60
Tabla 40. Volumen horario 17:00-19:00 del 27/05/2019	61
Tabla 41. Volumen horario de máxima demanda 27/05/2019.....	61
Tabla 42. Volumen horario 17:00-19:00 del 28/05/2019	61
Tabla 43. Volumen horario de máxima demanda 28/05/2019.....	62
Tabla 44. Volumen horario 17:00-19:00 del 28/05/2019	62
Tabla 45. Volumen horario de máxima demanda 29/05/2019.....	62
Tabla 46. Comparación de la hora de máxima demanda de cada día.....	63
Tabla 47. TPDS obtenidos sentido Cacique-Cementerio y Cementerio-Cacique .	64
Tabla 48. TPDS ambos sentidos.	64
Tabla 49. Composición vehicular del tramo vial.....	64
Tabla 50. Intervalos de clase.	66
Tabla 51. Distribuciones de frecuencia de velocidad de punto.	66
Tabla 52. Intensidad para cada Nivel de Servicio.	79
Tabla 53. Comparación de resultados obtenidos.....	83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fases de la investigación.....	54
Figura 2. Demarcación geográfica del tramo de estudio.....	55
Figura 3. Representación gráfica de los datos de velocidad de punto.....	67
Figura 4. Velocidad media.	68
Figura 5. Percentiles para velocidades.	68

LISTA DE ANEXOS

“Los anexos están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS”

- Anexo A. TPD de la semana comprendida del día 23 de mayo de 2019 al día 30 de mayo de 2019.
- Anexo B. Volumen vehicular de hora de máxima demanda.
- Anexo C. Composición vehicular
- Anexo D. Estudio de velocidades.
- Anexo E. Formulario para Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carretera de dos carriles.
- Anexo F. Formulario para Highway Capacity Manual 1994.
- Anexo G. Formulario para Highway Capacity Manual 2000

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL HCM 94, HCM 2000 Y MANUAL DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES, MEDIANTE UN ESTUDIO DE CASO EN EL TRAMO DESDE LA INTERSECCIÓN VIAL QUE CONDUCE AL CEMENTERIO LAS COLINAS HASTA EL PUENTE QUE CONDUCE AL CENTRO COMERCIAL CACIQUE DE LA VÍA ANTIGUA BUCARAMANGA-FLORIDABLANCA.*

AUTORES: MAYRA ALEJANDRA OLIVERO RIVERA, KARINA PAOLA OSPINO SUÁREZ**

PALABRAS CLAVE: Capacidad vial, nivel de servicio, Volumen de tránsito, velocidad de operación, hora de máxima demanda.

DESCRIPCIÓN

El presente proyecto tiene como finalidad determinar la capacidad vial y nivel de servicio por medio del Highway Capacity Manual 94, Highway Capacity Manual 2000 y el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles en el tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio las Colinas hasta el puente que conduce al Centro Comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca, para esto fue necesario realizar una toma de información de volúmenes de tránsito de la hora de máxima demanda, tránsito semanal y velocidades de operación en el tramo vial seleccionado.

En las siguientes páginas se describe el proceso realizado para lograr dicha finalidad, donde inicialmente mediante los datos obtenidos de campo se estiman unas variables, factores o datos propios de cada norma para proceder a realizar el procedimiento planteado en cada una de ellas y obtener los resultados de capacidad vial y nivel de servicio del tramo vial estudiado.

Después de esto se realiza un cuadro comparativo de los resultados obtenidos de la capacidad vial y nivel de servicio de cada una de las normas con el objeto de analizar la exigencia implícita en cada resultado teniendo en cuenta las variables utilizadas por cada uno de los métodos aplicados en cada norma.

* Proyecto de grado

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

ABSTRACT

TITLE: COMPARATIVE ANALYSIS OF HCM 94, HCM 2000 AND CAPACITY MANUAL AND LEVEL OF SERVICE FOR TWO-LANE HIGHWAYS, THROUGH A STUDY CASE IN THE SECTION FROM THE ROAD INTERSECTION THAT LEADS TO CEMENTERIO LAS COLINAS UNTIL THE BRIDGE THAT LEADS TO CACIQUE CENTRO COMERCIAL OF THE OLD ROAD BUCARAMANGA-FLORIDABLANCA.*

AUTHORS: MAYRA ALEJANDRA OLIVERO RIVERA, KARINA PAOLA OSPINO SUÁREZ**

KEYWORDS: road capacity, level of service, traffic volume, operating speed, rush hour.

DESCRIPTION

The purpose of this project is to determine the road capacity and the level of service through the Highway Capacity Manual 94, Highway Capacity Manual 2000 and the Capacity Manual and Level of Service for two-lane highways, through a study case in the section from the road intersection that leads to cementerio Las Colinas until the bridge that leads to Cacique Centro Comercial of the old road bucaramanga-floridablanca. For this, it was necessary to take information on traffic volumes of the rush hour, weekly traffic and operating speeds on the selected road section.

The following pages describes the process carried out to achieve this purpose, where initially, through the data obtained from the field, some variable, factors or specific data of each rule are estimated to proceed to perform the respective procedure proposed in all of them and obtain the Road Capacity results and the Level of Service of the road section studied.

After this, a comparative chart is made with the results obtained from the capacity of the road and the level of service of each rule to analyze the implicit requirement in each result, taking into account the variables used by each of the methods applied in each rule.

* Bachelor Thesis

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

INTRODUCCIÓN

Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas se estima que para el año 2050 la población mundial que habita zonas urbanas aumentará un 66%, dicho crecimiento poblacional significa para muchas ciudades grandes retos en relación a las necesidades que se deberán satisfacer, uno de esos factores que se predicen es el relacionado con transporte y movilidad, no es desconocido actualmente que la cantidad de vehículos en las calles ha aumentado considerablemente¹.

En el año 2017 según la dirección de tránsito de Bucaramanga se registró un parque automotor de 674.317 siendo estos en su mayoría motocicletas y automóviles con un 59,1% y 22,5% respectivamente. Si se hace una comparación, para el año 2015 el parque automotor registrado era 595.373, es decir, en tan sólo dos años el parque automotor ha aumentado 78.944 en automóviles y motocicletas, lo que corresponde al 13.25%, generando como consecuencia que la congestión en las vías sea cada vez más notoria, al igual que la accidentalidad vial y demoras en el tiempo de viaje²⁻³.

Respecto a lo anterior se puede decir que Bucaramanga y su área metropolitana ha estado en constante crecimiento los últimos años, lo que ha generado un incremento en la demanda de transporte. Actualmente, es mayor la cantidad de personas con capacidad de adquirir un vehículo propio y la carencia de una organización vial eficiente acorde con la situación actual de la ciudad ha generado diversos problemas de movilidad.

¹ CENTRO DE NOTICIAS ONU. Más de la mitad de la población vive en áreas urbanas y seguirá creciendo [En línea]. 2014. (Consultado el 02 de Agosto del 2019) Obtenido de la Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>

² CASTRO PABÓN, R. G. Parque Automotor de Bucaramanga y su Área Metropolitana [En línea]. 2015. (Consultado el 02 de Agosto del 2019). Obtenido de Dirección de Tránsito de Bucaramanga: <http://www.transitobucaramanga.gov.co/files/direccion/parque-automotor-2015.pdf>

³ DIRECCIÓN DE TRÁNSITO DE BUCARAMANGA. Estadísticas: parque automotor [En línea]. 2018. (Consultado el 02 de Agosto del 2019). Obtenido de: <https://www.transitobucaramanga.gov.co/parque-automotor.php>

Las vías en Bucaramanga y su área metropolitana deben estar diseñadas con base en el flujo y la demanda de transporte que el sistema vial solicite para poder reducir inconvenientes; se necesitan vías capaces de absorber el flujo de tráfico presente.

El tramo vial correspondiente a la intersección vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al Centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca presenta una problemática de movilidad, debido a la deficiencia en su capacidad vial, es una vía de orden municipal de transitabilidad significativa por la importancia urbana que posee. Este tramo vial presenta una gran cercanía con el Centro Comercial Cacique, la Universidad de Santander, el cementerio Jardines de la Colina, barrios urbanos y edificios aledaños que se encuentran hoy en día en construcción, los cuales presentan una densidad poblacional significativa. Además, este tramo vial sirve como vía potencial para la comunicación más fácil entre Bucaramanga y Floridablanca.

El manual de capacidad y nivel de servicio para carreteras de dos carriles ofrece las pautas y variables necesarias para definir el nivel de servicio con el cual se deben diseñar las vías. Por otro lado, existe el Highway Capacity Manual (HCM), que es una normativa norteamericana que contiene, de igual manera, conceptos, directrices y procedimientos de cálculo para definir la capacidad y calidad de servicio de las vías.

Por medio de un análisis comparativo entre el manual de capacidad y nivel de servicio para carreteras de dos carriles, el HCM 94 y el HCM 2000, se pretende realizar un análisis de los resultados obtenidos de la capacidad vial y nivel de servicio del tramo previamente definido, con el fin de analizar las variables que utiliza la metodología planteada en cada normativa.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el sistema vial correspondiente al tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca, mediante un estudio comparativo de los valores obtenidos para capacidad y nivel del servicio, establecidos en las normas HCM 94, HCM 2000, y manual colombiano para carreteras de dos carriles.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una toma de información de volúmenes de tránsito de la hora de máxima demanda, tránsito semanal y velocidades de operación en el tramo correspondiente desde la intersección vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca
- Clasificar el sistema vial correspondiente al tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca, con base en los volúmenes de tránsito semanal.
- Determinar la capacidad y nivel del servicio del tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca, con base en la norma HCM 94, HCM 2000 y Manual de Capacidad y Nivel de servicio para carreteras de dos carriles.

- Comparar los resultados obtenidos del nivel de servicio derivado de cada una de las normas HCM 94, HCM 2000 y el manual de Capacidad y Nivel de servicio para carretera de dos carriles.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se muestran algunos términos empleadas para el desarrollo de la presente investigación:

El Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carretera de dos carriles⁴ define los siguientes términos de esta manera:

Carretera de dos carriles: Tiene una calzada con un carril para cada sentido de circulación. Estas carreteras representan el mayor kilometraje de la infraestructura vial del país. Se utilizan para cumplir con una gran variedad de funciones en todas las regiones geográficas y satisfacen gran parte de las necesidades de acceso a fuentes de recursos económicos, culturales, recreativos, etc.⁵.

Terreno ondulado: Se caracteriza por tener pendientes transversales a la vía de 6 a 9 grados. Requiere moderado movimiento de tierras, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y en la explanación, así como pendientes longitudinales típicamente del 3% al 6%⁶.

Zonas de no rebase: Representa las zonas donde no es prudente realizar operaciones de adelantamiento. Una primera aproximación para su estimación es observando la demarcación horizontal de la vía⁷.

Volumen horario total: Cantidad de vehículos que transitan por ambos sentidos durante la hora pico a la que se le realizará el análisis⁸.

⁴ RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

⁵ *Ibíd.*

⁶ *Ibíd.*

⁷ *Ibíd.*

⁸ RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

Distribución por sentido: La distribución por sentidos afecta la eficacia con que funciona una carretera de dos carriles. Si esta distribución es muy desigual, es posible que un sentido de la vía se sature y alcance su capacidad mientras que el otro sentido esté lejos de saturarse. Es decir, que el volumen (en ambos sentidos) a que ocurre la capacidad está afectado por la distribución por sentidos del tránsito⁹.

Capacidad: Es el máximo número de vehículos que pueden circular por un punto o tramo uniforme de la vía en los dos sentidos, durante cierto período de tiempo, en las condiciones imperantes de vía y de tránsito. La capacidad se expresa en vehículos por hora, aunque puede medirse en períodos menores de una hora. El valor de la capacidad depende de la duración del período en que se mida¹⁰.

Nivel de servicio: hace referencia a la calidad de servicio que ofrece una vía a los usuarios, la cual se refleja en grado de satisfacción o contrariedad a quienes experimentan al usar la vía¹¹.

Se han definido seis niveles para Colombia que van desde el A al F, de la siguiente manera:

- **Nivel de servicio A.** Representa flujo libre en una vía cuyas especificaciones geométricas son adecuadas. Hay libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular es sumamente alta, al no existir prácticamente interferencia con otros vehículos y contar con condiciones de vía que no ofrecen restricción por estar de acuerdo con la topografía de la zona¹².

⁹ *Ibíd.*

¹⁰ *Ibíd.*

¹¹ *Ibíd.*

¹² *Ibíd.*

- **Nivel de servicio B.** Comienzan a aparecer restricciones al flujo libre o las especificaciones geométricas reducen algo la velocidad. La libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular se ven disminuidas, al ocurrir ligeras interferencias con otros vehículos o existir condiciones de vía que ofrecen pocas restricciones. Para mantener esta velocidad es preciso adelantar con alguna frecuencia otros vehículos. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es bueno¹³.

- **Nivel de servicio C.** Representa condiciones medias cuando el flujo es estable o empiezan a presentarse restricciones de geometría y pendiente. La libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular se ve afectada al presentarse interferencias tolerables con otros vehículos, deficiencias de la vía que son en general aceptables. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es adecuado¹⁴.

- **Nivel de servicio D.** El flujo todavía es estable y se presentan restricciones de geometría y pendiente. No existe libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular, al ocurrir interferencias frecuentes con otros vehículos, o existir condiciones de vía más defectuosas. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es deficiente¹⁵.

- **Nivel de servicio E.** Representa la circulación a capacidad cuando las velocidades son bajas pero el tránsito fluye sin interrupciones. En estas condiciones es prácticamente imposible adelantar, por lo que los niveles de libertad y comodidad son muy bajos. La circulación a capacidad es muy inestable, ya que pequeñas perturbaciones al tránsito causan congestión. Aunque se han tomado estas condiciones para definir el nivel E, este nivel también se puede

¹³ RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

¹⁴ Ibíd.

¹⁵ Ibíd.

alcanzar cuando limitaciones de la vía obligan a ir a velocidades similares a la velocidad a capacidad, en condiciones de inseguridad¹⁶.

- **Nivel de servicio F.** Representa la circulación congestionada, cuando el volumen de demanda es superior a la capacidad de la vía y se rompe la continuidad del flujo. Cuando eso sucede, las velocidades son inferiores a la velocidad a capacidad y el flujo es muy irregular. Se suelen formar largas colas y las operaciones dentro de estas se caracterizan por constantes paradas y avances cortos. También condiciones sumamente adversas de la vía pueden hacer que se alcancen velocidades e irregularidades en el movimiento de los vehículos semejantes a las descritas anteriormente¹⁷.

Volumen de tránsito. Este análisis permite sistematizar el comportamiento de una población. Antes de generalizar los resultados, es necesario analizar la variabilidad de la muestra para así estar seguros, con cierto nivel de confiabilidad, que esta se puede aplicar a otro número de casos no incluidos, pero que forman parte de las características de la población¹⁸. Es por esto que, en el análisis de volúmenes de tránsito, la media poblacional y el TPDA se estiman con base al TPDS, según la siguiente expresión:

$$TPDA = TPDS \pm A$$

Donde:

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual

TPDS: Tránsito Promedio Diario Semanal

A: Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS

¹⁶ RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

¹⁷ Ibíd.

¹⁸ REYES, R.C.M. y CÁRDENAS, J. Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones (Séptima Ed.). México, D.F.: Ediciones Alfaomega. 1994.

El valor de A, define el intervalo de confianza dentro del que se encuentra el TPDA. Para un determinado nivel de confianza, el valor de A es:

$$A = K \cdot E$$

Donde:

K = Número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado.

E = Error estándar de la media.

También se puede escribir que:

$$E = \sigma$$

Donde:

σ = estimador de la desviación estándar poblacional

El cual puede ser hallado con la siguiente expresión:

$$\sigma = (S/n)^{(1/2)} * ((N-n)/(N-1))^{(1/2)}$$

Donde:

S = desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito diario o desviación estándar muestral.

n = tamaño de la muestra en número de días del aforo.

N = tamaño de la población en número de días del año.

La desviación estándar S, se calcula con la siguiente expresión:

$$S = ((\sum(TDi-TPDS)^2)/(n-1))^{(1/2)}$$

Donde:

TDi = volumen de tránsito del día i.

Finalmente, se realiza la relación entre los volúmenes de TPDA y TPDS:

$$\begin{aligned} \text{TPDA} &= \text{TPDS} \pm A \\ &= \text{TPDS} \pm K * E \\ &= \text{TPDS} \pm K * \sigma \end{aligned}$$

Es necesario tener en cuenta que, en la distribución normal, para niveles de confiabilidad de 90% y el 95%, los valores de la constante k son 1.64 y 1.96, respectivamente¹⁹.

Transito Promedio Diario Anual – TPDA

Clasificación técnica oficial: teniendo en cuenta las características de los volúmenes de tránsito y las especificaciones geométricas de una carretera, esta puede ser clasificada en una categoría física²⁰. La clasificación de las carreteras respecto al TPDA, es la siguiente:

Tipo A4: Para un TPDA de 5.000 a 20.000 vehículos.

Tipo A2: Para un TPDA de 3.000 a 5.000 vehículos.

Tipo B: Para un TPDA de 1.500 a 3.000 vehículos.

Tipo C: Para un TPDA de 500 a 1.500 vehículos.

Tipo D: Para un TPDA de 100 a 500 vehículos.

Tipo E: Para un TPDA hasta 100 vehículos²¹.

Parámetros estadísticos que intervienen en los datos de cálculo de velocidad de punto: Luego de la realización de la toma de datos de campo, estos

¹⁹ REYES, R.C.M. y CÁRDENAS, J. Óp. Cit.

²⁰ Ibíd.

²¹ Ibíd.

se deben organizar en una tabla de distribución de velocidades de punto, donde se listan las velocidades redondeadas de menor a mayor y el número de vehículos observados por cada velocidad²².

Paso a paso para el cálculo de los parámetros estadísticos de la velocidad de punto:

- **Distribución de frecuencias o arreglo tabular de los datos.** Se agrupan los datos en una tabla de intervalos de clase por tamaño de muestra, donde se listan el tamaño de la muestra n y el número de intervalos N . Las frecuencias se relacionan mediante la agrupación de valores de magnitud similar en intervalos de clase, donde el número de datos se toma, generalmente entre 5 y 20, es según la cantidad de datos con la que se cuenta. Para el cálculo del intervalo de clases es necesario dividir la amplitud total, que es la diferencia algebraica entre la medición más grande y la más pequeña, entre el tamaño de la muestra²³.

Si el número obtenido como ancho de muestra no es un número entero, es necesario aproximarlo al siguiente número entero más cercano²⁴.

Tabla 1. Distribución de frecuencia de velocidad de punto.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
Intervalo de clase de grupos de velocidades (km/h)	Punto medio V_i (km/h)	Frecuencia observada		Frecuencia acumulada		(Col 2) ²	Col 3*Col 2	Col 3*Col 6
		Abs. F_i	Relativa. $(f_i/n)*100$ (%)	Abs. F_{ia}	Relativa. $(f_{ia}/n)*100$ (%)	V_i^2	F_i*V_i	$F_i*V_i^2$
TOTAL								

Fuente: REYES, R.C.M. y CÁRDENAS, J. Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones (Séptima Ed.). México, D.F.: Ediciones Alfaomega. 1994.

²² REYES, R.C.M. y CÁRDENAS, J. Óp. Cit.

²³ Ibíd.

²⁴ Ibíd.

Donde:

Columna 3: Frecuencia observada – F_i : Hace referencia al número de vehículos que pertenecen a cada grupo de intervalo²⁵.

Columna 4: Frecuencia observada relativa – $(F_i/n) * 100$: Se expresa como porcentaje. Es la frecuencia dividida entre el total de las frecuencias de todas las clases o grupos²⁶.

Columna 5: Frecuencia acumulada absoluta y relativa: F_{ia} y $(F_{ia}/n)*100$: La frecuencia acumulada absoluta es la frecuencia total de todos los valores menores que el límite real superior de la clase de un intervalo de clase dado, mientras que la frecuencia acumulada relativa es la frecuencia acumulada absoluta dividida entre la frecuencia total²⁷.

Columnas 6, 7 y 8: Estos datos se tendrán en cuenta para la realización de cálculos adicionales²⁸.

- **Representación gráfica de los datos de velocidad de punto.** Se realiza un histograma de frecuencias con las velocidades y la frecuencia observada relativa y se traza un polígono de frecuencia sobre el histograma, uniendo los puntos medios de los techos de los rectángulos²⁹.

Se realiza la curva de distribuciones de frecuencia, graficando los datos de los porcentajes de observaciones totales y el punto medio de cada grupo, uniendo estos puntos con una línea curva³⁰.

²⁵ REYES, R.C.M. y CÁRDENAS, J. Óp. Cit.

²⁶ *Ibíd.*

²⁷ *Ibíd.*

²⁸ *Ibíd.*

²⁹ *Ibíd.*

³⁰ *Ibíd.*

Se realiza la curva de frecuencia acumulada relativa u ojiva porcentual. Los porcentajes acumulados se dibujan contra el límite superior de cada grupo de velocidad³¹.

- **Percentiles:** Se obtienen de la curva de frecuencia acumulada relativa u ojiva porcentual. A continuación, se enuncian los percentiles y su velocidad correspondiente³².

P50: Esta velocidad es utilizada como una medida de la calidad del flujo vehicular. Es aproximadamente igual a la velocidad media.

P85: Velocidad crítica.

P15: Límite inferior de la velocidad.

P98: Establece la velocidad de proyecto³³.

A continuación, se presentan algunas definiciones, términos fundamentales y condiciones ideales, las cuales han sido utilizadas para la realización del análisis del Nivel de Servicio mediante el uso del Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carretera de dos carriles.

Método para el cálculo de capacidad por el método del Manual de Capacidad y Nivel de Servicio de carretera de dos carriles.

Condiciones ideales: Con base en observaciones de campo, se considera que la capacidad de una carretera de dos carriles en Colombia, en condiciones ideales, C_i , es de 3200 automóviles por hora en ambos sentidos³⁴.

Los requisitos que definen las condiciones ideales son los siguientes³⁵:

- Repartición del tránsito por igual en ambos sentidos.
- Terreno plano y rasante horizontal.
- Carriles de no menos de 3.65 metros de ancho.

³¹ REYES, R.C.M. y CÁRDENAS, J. Óp. Cit.

³² *Ibíd.*

³³ *Ibíd.*

³⁴ RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

³⁵ *Ibíd.*

- Bermas de no menos de 1.80 metros de ancho, con superficie de rodadura de calidad inferior a la de la calzada y distinta inclinación.
- Superficie de rodadura en condiciones óptimas.
- Alineamiento recto.
- Ausencia de vehículos pesados.
- Visibilidad adecuada para adelantar.
- Señalizaciones horizontales y verticales óptimas.

Factores de corrección a la capacidad por pendiente (Fpe). Las pendientes reducen la velocidad de los vehículos con respecto a la velocidad que pueden desarrollar en rasante horizontal. La reducción se traduce en un aumento en los intervalos entre vehículos que están en un pelotón y, por ende, en una disminución de la capacidad³⁶.

Tabla 2. Factor de corrección a la capacidad por pendiente (Fpe)

PEND. ASC.	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
2	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
3	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
4	0.98	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
5	0.98	0.95	0.94	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91
6	0.97	0.95	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89
7	0.96	0.93	0.91	0.89	0.89	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86
8	0.96	0.92	0.89	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84	0.83	0.84
9	0.94	0.89	0.85	0.83	0.82	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
10	0.92	0.85	0.81	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74
11	0.90	0.81	0.76	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68
12	0.87	0.76	0.71	0.68	0.67	0.64	0.64	0.63	0.63	0.61	0.61	0.61

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Fd).

Una carretera de dos carriles puede saturarse cuando tenga por lo menos un carril

³⁶ RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

saturado, aunque el volumen de tránsito sea muy bajo en el otro carril. Además, se deben considerar las verdaderas oportunidades de adelantamiento que ofrece el tramo en análisis, medido por el del porcentaje de zonas de no rebase³⁷.

Tabla 3. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Fd)

DISTRIBUCIÓN POR SENTIDOS A/D	PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE					
	0	20	40	60	80	100
50/50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
60/40	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85	0.83
70/30	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.71
80/20	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63
90/10	0.69	0.66	0.64	0.61	0.58	0.56
100/00	0.64	0.61	0.58	0.56	0.53	0.50

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (Fcb). Los carriles, bermas estrechos y la ausencia o malas condiciones de estas, restan confianza a los conductores, lo que se traduce en una disminución de la velocidad a la que estos van, un aumento en los intervalos entre sus vehículos, y la consiguiente reducción de la capacidad de la vía³⁸.

Tabla 4. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (Fcb)

ANCHO UTILIZABLE DE LA BERMA EN METROS	ANCHO DEL CARRIL (m)				
	3.65	3.50	3.30	3.00	2.70
1.80	1.00	0.99	0.98	0.96	0.92
1.50	0.99	0.99	0.98	0.95	0.91
1.20	0.99	0.98	0.97	0.95	0.91
1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.90
0.50	0.98	0.97	0.96	0.93	0.89
0.00	0.97	0.96	0.95	0.92	0.88

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

Factores de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Fp). Los vehículos pesados reducen el número de intervalos entre vehículos que pasan por un punto, ya que su paso demora más

³⁷ Ibid.

³⁸ RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

debido a su mayor longitud y a la menor velocidad que desarrollan retardando el paso de vehículos más rápidos al obligarlos a reducir su velocidad³⁹.

Tabla 5. Factores de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Fp)

PENDIENTE ASCENDENTE EN POR CIENTO	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS					
		10	20	30	40	50	60
0	TODAS	0.95	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78
1	0.5	0.95	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78
	1.0	0.94	0.89	0.86	0.83	0.80	0.77
	1.5	0.93	0.88	0.85	0.82	0.80	0.77
	2.0	0.92	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76
	3.0	0.91	0.87	0.84	0.82	0.79	0.76
	4.0	0.91	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75
2	0.5	0.94	0.90	0.85	0.83	0.80	0.77
	1.0	0.93	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76
	1.5	0.92	0.88	0.84	0.81	0.79	0.76
	2.0	0.90	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75
	3.0	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73
	4.0	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75	0.72
3	0.5	0.94	0.89	0.84	0.81	0.78	0.75
	1.0	0.92	0.87	0.83	0.80	0.77	0.75
	1.5	0.89	0.85	0.81	0.78	0.75	0.73
	2.0	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71
	3.0	0.86	0.82	0.79	0.76	0.73	0.70
	4.0	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
4	0.5	0.93	0.88	0.83	0.80	0.76	0.74
	1.0	0.89	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71
	1.5	0.84	0.81	0.77	0.74	0.72	0.69
	2.0	0.83	0.79	0.76	0.73	0.70	0.68
	3.0	0.82	0.78	0.75	0.71	0.68	0.66
	4.0	0.81	0.77	0.74	0.71	0.68	0.65
	75.0	0.80	0.77	0.73	0.70	0.67	0.64

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

Variaciones aleatorias del volumen de tránsito. Cuando el volumen horario se acerca a su capacidad, sin alcanzarla; debido a que existen siempre variaciones aleatorias en la demanda de tránsito, puede suceder que la demanda exceda la capacidad y se produzca congestión. Las consecuencias adversas de estas congestiones momentáneas suelen prolongarse mucho más allá de los momentos

³⁹ Ibíd.

donde hay déficit de capacidad y por ese motivo se trata de evitarlas hasta donde sea posible⁴⁰.

Tabla 6. Factores de pico horario basados en periodos de cinco minutos suponiendo llegadas de vehículos aleatorias (FPH)

VOLUMEN HORARIO TOTAL veh/h (C60)	FACTOR DE PICO HORARIO	VOLUMEN HORARIO TOTAL veh/h (C60)	FACTOR DE PICO HORARIO
100	0.68	1600	0.90
200	0.70	1800	0.92
300	0.72	2000	0.93
400	0.74	2200	0.95
600	0.78	2400	0.95
800	0.81	2600	0.96
1000	0.84	2800	0.97
1200	0.86	3000	0.97
1400	0.88		

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes (V_i). Es la velocidad media que se ha observado en Colombia cuando los automóviles transitan sin interferencia en vías con características ideales excepto que su rasante no es siempre horizontal. Puede considerarse que esta velocidad V_i se desarrolla en condiciones casi ideales y su determinación es el punto de partida para el cálculo del nivel de servicio⁴¹.

⁴⁰ RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

⁴¹ RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

Tabla 7. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes (Vi)

PEND. ASC. %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
1	88	86	86	86	85	85	85	85	85	85	85	85
2	88	82	81	81	80	80	80	80	80	80	80	80
3	83	79	77	76	75	75	75	75	75	75	75	75
4	82	77	74	72	70	70	69	69	69	69	68	68
5	81	74	70	68	66	66	65	65	64	64	64	64
6	80	73	67	65	63	62	61	61	60	60	60	60
7	85	69	63	60	59	56	55	55	54	54	54	54
8	76	66	60	55	54	52	51	51	50	50	49	49
9	70	59	52	49	48	46	44	44	43	43	43	43
10	66	52	46	42	41	40	39	38	38	37	37	37
11	61	46	39	38	35	34	33	31	31	30	30	30
12	55	39	34	30	29	27	27	26	26	25	25	25

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

Factores de corrección al nivel de servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (fu). Se trata de un factor de corrección al nivel de servicio medio que se brinda durante una hora, la relación volumen/capacidad se calcula dividiendo el volumen de demanda entre la capacidad C60. Esta relación es menor que la relación volumen/C5 que se utiliza para observar la probabilidad de ser superada la capacidad durante un pico de cinco minutos⁴².

Tabla 8. Factores de corrección al nivel de servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (fu)

RELACIÓN VOLUMEN/CAPACIDAD Q/C60	FACTOR DE CORRECCIÓN
0.1	0.99
0.2	0.98
0.3	0.96
0.4	0.92
0.5	0.87
0.6	0.82
0.7	0.75
0.8	0.68
0.9	0.59
1.0	0.50

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

⁴² RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

Factores de corrección al nivel de servicio por el estado de la superficie de rodadura (fsr). El factor fsr representa la incidencia del estado del pavimento en la velocidad, esta incidencia se acentúa conforme aumenta la velocidad, pues a muy bajas velocidades es prácticamente nula⁴³.

Tabla 9. Factores de corrección al nivel de servicio por el estado de la superficie de rodadura (fsr)

VELOCIDAD (km/h) V_1	IRI > 6 mm/m	IRI 4 a 6 mm/m	IRI 2 a 4 mm/m
	ÁREA AFECTADA Mayor del 30 %	ÁREA AFECTADA Del 15 al 30 %	ÁREA AFECTADA Menor del 15 %
	Nivel Funcional 2	Nivel Funcional 3	Nivel Funcional 4 ó 5
20	1.00	1.00	1.00
30	0.99	0.99	1.00
40	0.97	0.98	1.00
50	0.93	0.95	1.00
60	0.88	0.92	0.98
70	0.81	0.87	0.97
80	0.73	0.82	0.96
90	0.63	0.75	0.94

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

Factores de corrección al nivel de servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (fcb). Los efectos de las deficiencias en los anchos de carril y berma se hacen sentir más en la velocidad que en la capacidad⁴⁴.

⁴³ Ibid.

⁴⁴ RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

Tabla 10. Factores de corrección al nivel de servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (fcb)

ANCHO UTILIZABLE DE LA BERMA (m)	ANCHO DEL CARRIL (m)				
	3.65	3.50	3.30	3.00	2.70
1.80	1.00	0.97	0.93	0.85	0.73
1.50	0.98	0.95	0.91	0.83	0.71
1.20	0.96	0.93	0.89	0.81	0.70
1.00	0.95	0.92	0.88	0.80	0.69
0.50	0.91	0.88	0.84	0.76	0.66
0.00	0.88	0.85	0.81	0.73	0.63

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

Factores de corrección al nivel de servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes. Estos vehículos desarrollan menores velocidades que los vehículos ligeros y su presencia los retarda⁴⁵. La magnitud de este retardo depende de:

- La velocidad de los automóviles a flujo restringido, la inclinación y longitud de la pendiente del sector que se estudia.
- El porcentaje de vehículos pesados.
- El volumen de tránsito en ambos sentidos⁴⁶.

⁴⁵ RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

⁴⁶ Ibíd.

Tabla 11. Factores de corrección al nivel de servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (f_{p1})

PENDIENTE ASCENDENTE %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	VELOCIDAD MEDIA DE LOS AUTOMÓVILES EN km/h, (V_s)					
		≥ 90	80	70	60	50	≥ 40
0	Todas	0.85	0.88	0.92	0.97	1.00	1.00
1	0.5	0.84	0.88	0.91	0.96	1.00	1.00
	1.0	0.80	0.84	0.89	0.95	1.00	1.00
	1.5	0.78	0.82	0.88	0.95	1.00	1.00
	2.0	0.75	0.82	0.88	0.95	1.00	1.00
	2.5	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.00
	3.0	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.00
	73.5	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.00
2	0.5	x	0.00	0.91	0.95	1.00	1.00
	1.0	x	0.87	0.87	0.93	1.00	1.00
	1.5	x	0.82	0.85	0.92	0.99	1.00
	2.0	x	0.79	0.84	0.92	0.98	1.00
	2.5	x	0.79	0.84	0.92	0.98	1.00
	3.0	x	0.78	0.84	0.92	0.98	1.00
	73.5	x	0.77	0.84	0.92	0.98	1.00
3	0.5	x	0.84	0.88	0.92	0.98	1.00
	1.0	x	0.79	0.84	0.89	0.97	1.00
	1.5	x	0.75	0.80	0.87	0.95	1.00
	2.0	x	0.74	0.80	0.87	0.95	1.00
	2.5	x	0.73	0.79	0.87	0.95	1.00
	3.0	x	0.73	0.79	0.86	0.95	1.00
4	0.5	x	0.82	0.86	0.91	0.97	1.00
	1.0	x	0.77	0.81	0.87	0.95	1.00
	1.5	x	0.72	0.77	0.84	0.92	1.00
	2.0	x	0.72	0.77	0.83	0.92	1.00
	2.5	x	0.71	0.76	0.83	0.91	1.00
	3.0	x	0.71	0.75	0.82	0.91	1.00
	73.5	x	0.70	0.74	0.82	0.91	1.00

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

Tabla 12. Factores de corrección por la presencia de vehículos pesados (f_{p2})

PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS	VOLÚMENES EN AMBOS SENTIDOS (veh/h)								
	750	100	200	300	400	500	600	800	≥1000
0	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
10	1.07	1.07	1.07	1.07	1.06	1.05	1.04	1.02	1.00
20	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.01	0.99	0.97	0.96
30	1.02	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.96	0.95
40	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94
50	0.98	0.97	0.95	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
60	0.95	0.94	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
70	0.93	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
80	0.92	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
100	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

Velocidad máxima que permite la curva más cerrada (V_c). Para tener en cuenta la curvatura hay que comparar la velocidad en tangente, con la máxima velocidad media en el sector que se estudia que permite la curva más cerrada de este⁴⁷.

Tabla 13. Velocidad máxima que permite la curva más cerrada del sector (V_c)

RADIO DE CURVATURA (m)	VELOCIDAD MÁXIMA** (km/h)
20	37
40	46
60	51
80	54
100	57
150	62
200	66
300	71
400	74
500	77

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

Determinación del nivel de servicio. La siguiente tabla ofrece una escala separada para cada tipo de terreno y para el nivel de servicio, tiene en cuenta que las exigencias de los conductores disminuyen a medida que la topografía se va haciendo más abrupta⁴⁸.

⁴⁷ RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

⁴⁸ RADELAT EGÜES, G. Óp. Cit.

Tabla 14. Velocidades en km/h que determinan los niveles de servicio por tipo de terreno.

Tipo de Terreno (Pendiente longitudinal)	NIVELES DE SERVICIO					
	A	B	C	D	E	F
Plano (< 3%)	> 83	72 - 83	62 - 72	52 - 62	42 - 52	? 42
Ondulado (? 3 - < 6%)	> 68	59 - 68	51 - 59	43 - 51	34 - 43	? 34
Montañoso (? 6 - < 8%)	> 52	45 - 52	39 - 45	33 - 39	28 - 33	? 28
Escarpado (? 8%)	> 38	31 - 38	27 - 31	23 - 27	18 - 23	? 18

Fuente: RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

A continuación, se presentan algunas definiciones, términos fundamentales y condiciones ideales, las cuales han sido utilizadas para la realización del análisis del Nivel de Servicio mediante el uso de la HCM 94⁴⁹.

Condiciones ideales para el calculo de nivel de servicio (HCM-94). Las condiciones ideales para las carreteras de dos carriles se definen como aquellas condiciones no restrictivas desde los puntos de vista de las características geométricas de la circulación y del entorno⁵⁰.

- Velocidad de proyecto igual o mayor de 96 km/h.
- Anchuras de carril iguales o superiores a 3.60m.
- Arcenes de anchura igual o superior 1.80m.
- Inexistencia de tramos con prohibición de adelantamiento.
- Todos los vehículos son “turismos” (o vehículos ligeros).
- Reparto 50/50 del tráfico según los sentidos de circulación.
- Ninguna restricción al tráfico principal debida a algún tipo de control o a vehículos que giren.
- Terreno llano.

⁴⁹ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

⁵⁰ Ibíd.

- Capacidad de la carretera: 2800 veh/h⁵¹

La fórmula general que define el funcionamiento de la circulación en tramos de características geométricas normales es la siguiente⁵²:

$$I_{Si}=2800*(I/c) *f_R*f_A*f_{VP}$$

En donde:

I_{Si} : intensidad total de la calzada para el nivel de servicio i, en veh/h, para las condiciones prevalecientes de la carretera y de la circulación.

I/c : relación de la intensidad a la capacidad ideal para el nivel de servicio i.

f_R : factor de ajuste para el reparto de la circulación por sentidos.

f_A : factor de ajuste de la anchura de carriles y arcenes.

f_{VP} : factor de ajuste debido a la presencia de vehículos pesados en circulación.

Ajuste por el reparto de los sentidos

Tabla 15. Factor de ajuste del reparto por sentidos en tramos de características geométricas normales.

REPARTO POR SENTIDOS	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
FACTOR DE AJUSTE, Fr	0.71	0.75	0.83	0.89	0.94	1

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Manual de capacidad de carreteras (Tercera ed.), Washington, D.C.: National Research Council, 1994.

Ajuste por reducción de la anchura de los carriles y arcenes. Los carriles estrechos obligan a los conductores a acercarse a los vehículos del carril opuesto, y un efecto parecido se produce con los arcenes estrechos y los obstáculos fijos del borde de la calzada frente a los cuales los conductores se intimidan y apartan cuando los juzgan peligrosos⁵³.

⁵¹ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Manual de capacidad de carreteras, Óp. Cit.

⁵² *Ibíd.*

⁵³ *Ibíd.*

Tabla 16. Factores de ajuste para el efecto combinado de la anchura de los carriles y arcenes. f_A

Anchura útil del arcén	CARRILES 3.6 m		CARRILES 3.3 m		CARRILES 3.0 m		CARRILES 2.7 m	
	A-D	E	A-D	E	A-D	E	A-D	E
1.80	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70	0.76
1.20	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
0.60	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0.00	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Manual de capacidad de carreteras (Tercera ed.), Washington, D.C.: National Research Council, 1994.

Relación entre la intensidad y la capacidad ideal (I/c). Esta relación refleja una conexión entre la velocidad, la intensidad, demora y las características geométricas de las carreteras de dos carriles. Los valores de I/c varían con el nivel de servicio, tipo de terreno y la magnitud de las restricciones de adelantamiento⁵⁴.

⁵⁴ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Manual de capacidad de carreteras, Óp. Cit.

Tabla 17. Niveles de servicio para tramos de carreteras de dos carriles de características geométricas normales. Valores de la relación I/c

NS	% DEM EN	V_m^b	TERRENO LLANO					
			% PROHIBIDO ADELANTAR					
			0	20	40	60	80	100
A	≤ 30	≥ 93	0,150	0,120	0,090	0,070	0,050	0,040
B	≤ 45	≥ 88	0,270	0,240	0,210	0,190	0,170	0,160
C	≤ 60	≥ 83	0,430	0,390	0,360	0,340	0,330	0,320
D	≤ 75	≥ 80	0,640	0,620	0,600	0,590	0,580	0,570
E	> 75	≥ 72	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
F	100	<72	-	-	-	-	-	-
NS	% DEM EN TIEM.	V_m^b	TERRENO ONDULADO					
			% PROHIBIDO ADELANTAR					
			0	20	40	60	80	100
A	≤ 30	≥ 91	0,150	0,100	0,070	0,050	0,040	0,030
B	≤ 45	≥ 86	0,260	0,230	0,190	0,170	0,150	0,130
C	≤ 60	≥ 82	0,420	0,390	0,350	0,320	0,300	0,280
D	≤ 75	≥ 78	0,620	0,570	0,520	0,480	0,460	0,430
E	> 75	≥ 64	0,970	0,940	0,920	0,910	0,900	0,900
F	100	<64	-	-	-	-	-	-
NS	% DEM EN	V_m^b	TERRENO MONTAÑOSO					
			% PROHIBIDO ADELANTAR					
			0	20	40	60	80	100
A	≤ 30	≥ 90	0,140	0,090	0,070	0,040	0,020	0,010
B	≤ 45	≥ 86	0,250	0,200	0,160	0,130	0,120	0,100
C	≤ 60	≥ 78	0,390	0,330	0,280	0,230	0,200	0,160
D	≤ 75	≥ 70	0,580	0,500	0,450	0,040	0,370	0,330
E	> 75	≥ 56	0,910	0,870	0,840	0,820	0,800	0,780
F	100	<56	-	-	-	-	-	-

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Manual de capacidad de carreteras (Tercera ed.), Washington, D.C.: National Research Council, 1994.

Factor de vehículos pesados (f_{VP}). Los vehículos pesados se clasifican en camiones, vehículos de recreo y autobuses, caracterizándose la circulación por la proporción de estos vehículos existente en la misma⁵⁵.

⁵⁵ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Manual de capacidad de carreteras, Óp. Cit.

$$f_{VP} = 1 / [1 + P_C (E_C - 1) + P_R (E_R - 1) + P_B (E_B - 1)]$$

Donde:

P_C : proporción de camiones en la circulación, expresada en tanto por uno.

P_R : proporciones de vehículos recreativos en la circulación, expresada en tanto por uno.

P_B : proporción de autobuses en la circulación expresada en tanto por uno.

E_C : equivalente de camiones.

E_R : equivalente de vehículos recreativos.

E_B : equivalente de autobuses.

Tabla 18. Equivalentes en vehículos ligeros de camiones, vehículos de recreo y autobuses para carreteras de dos carriles en tramos de condiciones geométricas normales.

TIPO DE VEHICULO	NIVEL DE SERVICIO	TIPO DE TERRENO		
		LLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO
Camiones, Ec	A	2.0	4.0	7.0
	B y C	2.2	5.0	10.0
	D y E	2.0	5.0	12.0
VR, ER	A	2.2	3.2	5.0
	B y C	2.5	3.9	5.2
	D y E	1.6	3.3	5.2
Autobuses EB	A	1.8	3.0	5.7
	B y C	2.0	3.4	6.0
	D y E	1.6	2.9	6.5

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Manual de capacidad de carreteras (Tercera ed.), Washington, D.C.: National Research Council, 1994.

Factor de hora punta (FPH). Este criterio se utiliza para calcular la intensidad de servicio que se compara con las intensidades proyectadas para determinar el nivel de servicio⁵⁶.

⁵⁶ Ibíd.

Tabla 19. Factores de hora punta para carretera de dos carriles basados en circulación aleatoria.

INTENSIDAD HORARIA (veh/h)	FACTOR DE HORA PUNTA FHP	INTENSIDAD HORARIA (veh/h)	FACTOR DE HORA PUNTA FHP
100	0.83	1000	0.93
200	0.87	1100	0.94
300	0.9	1200	0.94
400	0.91	1300	0.94
500	0.91	1400	0.94
600	0.92	1500	0.95
700	0.92	1600	0.95
800	0.93	1700	0.95
900	0.93	1800	0.95
		≥1900	0.96

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Manual de capacidad de carreteras (Tercera ed.), Washington, D.C.: National Research Council, 1994.

Conversión de volúmenes existentes a provisionales a una intensidad equivalente⁵⁷.

$$I=Q/FHP$$

Donde:

I: intensidad.

Q: Volumen horario total en ambos sentidos.

FHP: Factor de hora punta.

A continuación, se presentan algunas definiciones, términos fundamentales y condiciones ideales, las cuales han sido utilizadas para la realización del análisis del Nivel de Servicio mediante el uso de la HCM 2000⁵⁸.

⁵⁷ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Manual de capacidad de carreteras, Óp. Cit.

⁵⁸ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

Condiciones ideales para HCM 2000. Las condiciones ideales que plantea el HCM 2000 para carretera de dos carriles son las siguientes⁵⁹:

- Ancho de carril mayor o igual a 3.6m.
- Ancho de berma mayor o igual a 1.8m.
- No hay zonas de no rebase.
- Todos los vehículos son automóviles.
- No hay impedimentos para el tránsito, como control de tránsito o giro de vehículos.
- Tipo de terreno plano.

Para el análisis de flujo direccional, una división direccional de 50/50 del tráfico también se considera como condición ideal⁶⁰.

Clasificación de la carretera. Las carreteras de dos carriles se pueden categorizar en las siguientes clases⁶¹:

Tabla 20. Resumen de las clases de carreteras de dos carriles

Clase	Descripción
I	Carreteras en las que los conductores esperan viajar a velocidades relativamente altas, incluyendo rutas interurbanas principales, arterias primarias y rutas diarias de cercanía.
II	Carreteras en las que los conductores no necesariamente esperan viajar a altas velocidades, estas incluyen rutas de acceso, rutas recreativas, rutas por terreno accidentado y rutas que no son arterias principales.

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

Densidad de puntos de acceso. Número total de caminos de acceso dividido por la longitud de la ruta que se analiza⁶².

⁵⁹ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Óp. Cit.

⁶⁰ *Ibíd.*

⁶¹ *Ibíd.*

⁶² *Ibíd.*

Tabla 21. Densidad de puntos de acceso por defecto.

Tipo de desarrollo	Valor por defecto	Puntos de acceso/km (un lado)
Rural	5	0-6
Suburbano de baja densidad	10	7-12
Suburbano de alta densidad	15	≥ 13

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

Velocidad de flujo libre base (BFFS). en condiciones ideales, varía desde los 70 a 110km/h, dependiendo de las características de la carretera. Si se cuenta con datos de campo de velocidad, se utiliza la velocidad de proyecto, también llamada velocidad de diseño, como velocidad de flujo libre base⁶³.

Volumen horario total en ambos sentidos (Q). cantidad de vehículos que transitan por ambos sentidos durante la hora pico a la que se le realizará el análisis⁶⁴.

Factor de hora pico (PHF). es la variación en el flujo de tráfico dentro de la hora de máxima demanda, proporcionando la relación entre el pico de velocidad de flujo de 15 minutos y el volumen de cada hora completa. Cuando se carece de datos de campo, los valores por defecto para área rural y área urbana son 0.88 y 0.92 respectivamente⁶⁵.

$$PHF = V/(4*V15)$$

Donde:

PHF: Factor de hora pico.

V: Demanda de volumen para la hora pico completa.

V15: Tasa de flujo máxima para periodo de 15 minutos de la hora pico.

⁶³ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Óp. Cit.

⁶⁴ Ibíd.

⁶⁵ Ibíd.

Factor de ajuste de pendiente (f_G). representa el efecto del terreno en las velocidades de viaje y porcentaje del tiempo dedicado a avanzar, aún si no hay vehículos pesados presentes⁶⁶.

Tabla 22. Factor de ajuste de pendiente f_G para determinar la velocidad en dos sentidos y en segmentos direccionales.

Rango de vehículos que fluyen en ambas direcciones (veh/h)	Rango de vehículos que fluyen en caudal direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
		Plano	Ondulado
0-600	0-300	1.00	0.71
>600-1200	>300-600	1.00	0.93
>1200	>600	1.00	0.99

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

Tabla 23. Factor de ajuste de pendiente f_G para determinar el porcentaje del tiempo dedicado a avanzar en dos sentidos y en segmentos direccionales.

Rango de vehículos que fluyen en ambas direcciones (veh/h)	Rango de vehículos que fluyen en caudal direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
		Plano	Ondulado
0-600	0-300	1.00	0.77
>600-1200	>300-600	1.00	0.94
>1200	>600	1.00	1.00

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

Factor de ajuste para vehículos pesados (f_{HV}). Ajusta los volúmenes de tráfico al caudal equivalente al flujo de vehículos que pasan por hora⁶⁷.

$$f_{HV} = (1) / (1 + P_T * (E_T - 1) + P_R * (E_R - 1))$$

Donde:

P_T : Proporción de camiones en el flujo de tráfico, expresado en decimales.

⁶⁶ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Óp. Cit.

⁶⁷ Ibíd.

P_R : Proporción de vehículos recreativos – RVs en el flujo de tráfico, expresado en decimales.

E_T : Equivalente de automóvil para camiones.

E_R : Equivalente de automóvil para vehículos recreativos – RVs.

Tabla 24. Vehículos equivalentes para camiones y vehículos recreativos RVs para determinar la velocidad en ambos sentidos.

Tipo de vehículo	Rango de vehículos que fluyen en ambas direcciones	Rango de vehículos que fluyen en caudal direccional	Tipo de terreno	
	(veh/h)	(veh/h)	Plano	Ondulado
Camiones, E_T	0-600	0-300	1.7	2.5
	>600-1200	>300-600	1.2	1.9
	>1200	>600	1.1	1.5
Vehículos recreativos RVs, E_R	0-600	0-300	1.0	1.1
	>600-1200	>300-600	1.0	1.1
	>1200	>600	1.0	1.1

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

Tabla 25. Vehículos equivalentes para camiones y vehículos recreativos- RVs para determinar el porcentaje de tiempo dedicado a avanzar en ambos sentidos.

Tipo de vehículo	Rango de vehículos que fluyen en ambas direcciones	Rango de vehículos que fluyen en caudal direccional	Tipo de terreno	
	(veh/h)	(veh/h)	Plano	Ondulado
Camiones, E_T	0-600	0-300	1.1	1.8
	>600-1200	>300-600	1.1	1.5
	>1200	>600	1.0	1.0
Vehículos recreativos RVs, E_R	0-600	0-300	1.0	1.0
	>600-1200	>300-600	1.0	1.0
	>1200	>600	1.0	1.0

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

Tasa de flujo de vehículos equivalente para un periodo de flujo de máximo 15 minutos (V_P). Para determinar la demanda del flujo, es necesario realizar tres ajustes a los volúmenes de demanda horaria, ya sea basado en los conteos de

tráfico horario o en las estimaciones de este, para de esta forma llegar a la tasa de flujo equivalente de vehículos utilizada en el nivel de servicio⁶⁸.

$$V_P = (V)/(PHF * f_G * f_{HV})$$

Donde:

V_P : Tasa de flujo de vehículos equivalentes para un periodo de flujo de máximo 15 minutos.

V : Demanda de volumen máximo para la hora pico completa.

PHF : Factor de hora pico.

f_G : Factor de ajuste de pendiente.

f_{HV} : Factor de ajuste para vehículos pesados.

Flujo direccional más alto. Para el cálculo del flujo direccional más alto se tiene en cuenta la distribución por sentido más alta. Esta se multiplica por el valor obtenido de V_P , y el resultado debe ser menor al valor de capacidad de 1.700 veh/h. A continuación, se vuelve a multiplicar el resultado anterior obtenido por la distribución por sentido más alta y este nuevo resultado debe ser menor al valor de capacidad de 3.200 veh/h⁶⁹.

Velocidad de flujo libre (FFS). Es la velocidad del tráfico a un volumen bajo y de baja densidad, a la que los conductores se sientan cómodos viajando en las condiciones físicas, ambientales y de control de tráfico⁷⁰.

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

Donde:

$BFFS$: Velocidad de flujo libre base.

f_{LS} : Factor de ajuste para ancho de carril y ancho de berma.

⁶⁸ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Óp. Cit.

⁶⁹ Ibíd.

⁷⁰ Ibíd.

f_A : Factor de ajuste para densidad de puntos de acceso.

Tabla 26. Factor de ajuste f_{LS} para ancho de carril y ancho de berma.

Ancho de carril(m)	Reducción en FFS (km/h)			
	Ancho de berma (m)			
	$\geq 0.0 < 0.6$	$\geq 0.6 < 1.2$	$\geq 1.2 < 1.8$	≥ 1.8
$2.7 < 3.0$	10.3	7.7	5.6	3.5
$\geq 3.0 < 3.3$	8.5	5.9	3.8	1.7
$\geq 3.3 < 3.6$	7.5	4.9	2.8	0.7
≥ 3.6	6.8	4.2	2.1	0.0

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

Tabla 27. Factor de ajuste f_A para densidad de puntos de acceso.

Puntos de acceso por kilómetro	Reducción en FFS (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
≥ 24	16.0

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

Velocidad media de viaje (ATS). se calcula a partir del FFS, la tasa de flujo de la demanda, la tasa de flujo opuesta y un factor de ajuste para el porcentaje de zonas sin pasar en la dirección de análisis⁷¹.

$$ATS_d = FFS_d - 0.0125 * (V_d + V_o) - f_{np}$$

Donde:

ATS_d : Velocidad media de viaje en la dirección de análisis (km/h).

FFS_d : Velocidad de flujo libre en la dirección de análisis (km/h).

V_d : Tasa de flujo para vehículos para el periodo máximo de 15 minutos en la dirección de análisis (veh/h).

⁷¹ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Óp. Cit.

V_o : Tasa de flujo equivalente a vehículos para el periodo máximo de 15 minutos en la dirección opuesta (veh/h).

F_{np} : Ajuste para porcentaje de zonas de no rebase en la dirección de análisis.

Tabla 28. Ajuste (f_{np}) para efecto de zonas de no rebase en la velocidad media de viaje, para flujo en ambas direcciones.

Tasa de flujo de ambos lados, V_p , (Veh/h)	Reducción de la velocidad media de viaje (km/h)					
	Zonas de no rebase (%)					
	0	20	40	60	80	100
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
200	0.0	1.0	2.3	3.8	4.2	5.6
400	0.0	2.7	4.3	5.7	6.3	7.3
600	0.0	2.5	3.8	4.9	5.3	6.2
800	0.0	2.2	3.1	3.9	4.3	4.9
1000	0.0	1.8	2.5	3.2	3.6	4.2
1200	0.0	1.3	2.0	2.6	3.0	3.4
1400	0.0	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7
1600	0.0	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4
1800	0.0	0.8	1.1	1.6	1.8	2.1
2000	0.0	0.8	1.0	1.4	1.6	1.8
2200	0.0	0.8	1.0	1.4	1.5	1.7
2400	0.0	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7
2600	0.0	0.8	1.0	1.3	1.4	1.6
2800	0.0	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4
3000	0.0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3
3200	0.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

Porcentaje base de tiempo empleado en avance para ambas direcciones (BPTSF).⁷²

$$BPTSF=100*(1-e^{(-0.000879*V_p)})$$

Donde:

V_p : Tasa de flujo de vehículos equivalente para un periodo de flujo de máximo 15 minutos.

⁷² TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Óp. Cit.

Porcentaje de tiempo transcurrido avanzando (PTSF): Se determina a partir de la tasa de flujo de la demanda, la distribución direccional del tráfico y el porcentaje de zonas de no rebase⁷³.

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Donde

PTSF: Porcentaje de tiempo transcurrido avanzando

BPTSF: Porcentaje base de tiempo empleado en avance para ambas direcciones.

$F_{d/np}$: Ajuste para el efecto combinado de distribución direccional de tráfico y porcentaje de zonas de no rebase.

Tabla 29. Ajuste para el efecto combinado de distribución direccional de tráfico y porcentaje de zonas de no rebase.

Tasa de flujo de ambos lados, V_p , (Veh/h)	Reducción de la velocidad media de viaje (km/h)					
	Zonas de no rebase (%)					
	0	20	40	60	80	100
División direccional = 50/50						
≤200	0.0	10.2	17.2	20.2	21.0	21.8
400	0.0	12.4	19.0	22.7	23.8	24.8
600	0.0	11.2	16.0	18.7	19.7	20.5
800	0.0	9.0	12.3	14.1	14.5	15.4
1400	0.0	3.6	5.5	6.7	7.3	7.9
2000	0.0	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
2600	0.0	1.1	1.6	2.0	2.3	2.4
3200	0.0	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

⁷³ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Óp. Cit.

Tabla 30. Criterios básicos para la clasificación de nivel de servicio para carreteras clase II.

NDS	PTSF
A	≤40
B	>40-55
C	>55-70
D	>70-85
E	>85

Nota:
NDS F aplica siempre que el caudal exceda su capacidad.

Fuente: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

3. METODOLOGÍA

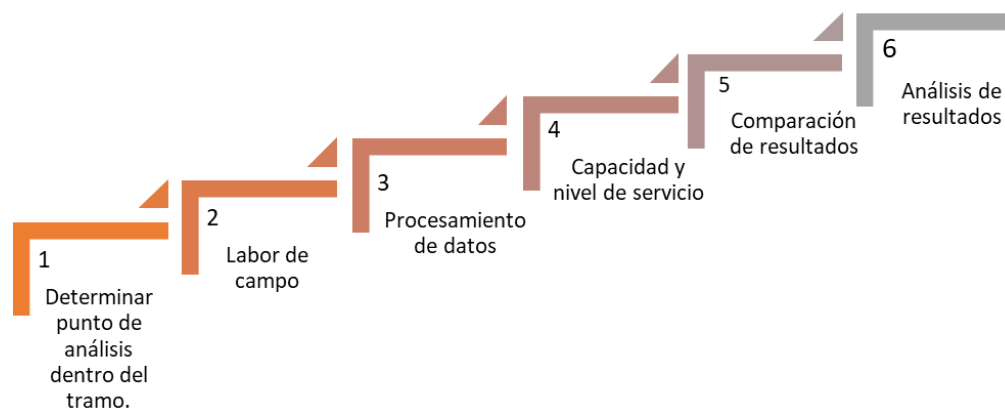
La investigación presente hace referencia a la comparación de los valores de capacidad y nivel de servicio del tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca, el cual tiene una longitud aproximada de 2,2 km.

Primeramente, se realizó un trabajo de campo, el cual comprendió un aforo vehicular durante la semana del 23 al 30 de mayo del 2019, toma de velocidades y medición del perfil vial en un punto estratégico dentro del tramo vial.

Con base a los datos de campo obtenidos se procedió a determinar la capacidad y nivel de servicio según el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles, el HCM-94 y el HCM-2000.

Seguidamente, se realizó una tabla comparativa con los resultados obtenidos de cada normativa y se analizó la exigencia de estas según las variables que involucra su metodología.

Figura 1. Fases de la investigación.



Fuente: Elaboración propia.

3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

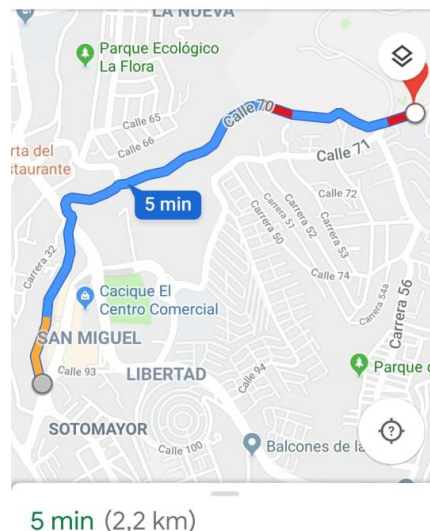
La ubicación para la realización de la toma de datos se realizó a 100 metros del puente que conduce al centro comercial Cacique, sobre la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca. Para escoger el punto de estudio, se realizó un recorrido por el tramo a estudiar y se observó que en este sector escogido se conservaba la uniformidad de la vía y del volumen del tráfico, cumplía con las características para un tramo típico y se consideró como un sector seguro para que los aforadores pudieran realizar la toma de datos sin correr riesgo alguno, ya que es una zona rodeada de viviendas y había constante paso de transeúntes.

3.2 DATOS OBTENIDOS DE CAMPO

3.2.1 Características de la vía.

Longitud del tramo:

Figura 2. Demarcación geográfica del tramo de estudio.



Fuente: Google. [Puente que conduce al centro comercial Cacique, sobre la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca en Google mapas]. s.f. (Consultado el 03 de Agosto del 2015).
Obtenido de: <https://www.google.com.co/maps/@4.6315748,-74.0699088,11.79z?hl=en>

Por medio del servidor de aplicaciones de mapas en la web, Google Maps, se establecieron los puntos limitantes del tramo vial, obteniendo como resultado de importancia la distancia total de este, 2.2 km.

Ancho de carril: por medio de una medición en campo con un flexómetro en distintos puntos del tramo vial se estableció que el ancho de carril es de 3.40m.

Ancho de berma: por medio de una medición en campo con un flexómetro en distintos puntos del tramo vial se estableció que el ancho de carril es de 0.40m.

Porcentaje de zonas de no rebase: 30%, dicho valor fue estimado según la percepción visual, ya que durante el tramo no se delimita ningún segmento de vía con doble línea, sin embargo, se detectan sectores donde el adelantamiento es posible.

Pendiente promedio: está pendiente se estimó mediante un recorrido total del sector, durante dicho recorrido se hizo una serie de paradas para medir la pendiente en varios puntos al azar, por medio de una aplicación móvil (clinometer), finalmente se realizó un cálculo de pendiente promedio la cual es de 4%.

Tabla 31. Valores de pendiente tomadas en campo.

Punto	Pendiente
1	3.5
2	3.8
3	4.2
4	4
5	4.2
6	3.7
7	3.8
8	3.8
9	4.4
10	4.1
Promedio	3.95

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de terreno: el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), mediante la clasificación de carreteras por tipo de terreno establece que para carreteras donde la pendiente oscile entre 3% y 6%⁷⁴ el tipo de terreno predominante es ondulado, por dichas razones y por la topografía general de Bucaramanga, se estableció como tipo de terreno ondulado.

Número de entradas por kilómetro: mediante un recorrido se detectaron 2 entradas por kilómetro durante el tramo vial que afectan la densidad vehicular.

Radio de la curva más cerrada: 90m, este valor fue calculado por medio de Google Earth, un programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital. Primeramente, se detectó dentro del sector la curva más cerrada y se acotó las distancias necesarias para proceder a calcular el radio de la curva.

3.2.2 Datos de tránsito. A partir de un aforo realizado desde el día jueves 23 de mayo del 2019 hasta el jueves 30 del mismo mes, en el tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio Las Colinas hasta el puente que conduce al Centro Comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca, se extraen los datos necesarios para determinar la capacidad y nivel de servicio referentes al tránsito según la HCM 94, HCM 2000 y el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles, como son el volumen horario, porcentaje de buses y camiones, distribución por sentido.

El aforo vehicular se realizó las 24 horas de cada día, registrando en el formato de aforo la cantidad de taxis, particulares, buses, busetas, C-2P, C-2G, C-3, C-4, C-5, C-6 y motos, cada hora, sin embargo, desde las 17:00h hasta las 19:00h se registran dichos datos cada 15 minutos, por motivo de la notoria congestión en la zona.

⁷⁴ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de diseño geométrico de carreteras [En línea]. Bogotá, D.C.: Ministerio de transporte. 2008. (Consultado el 03 de agosto del 2019). Obtenido de <http://artemisa.unicauca.edu.co/~carbol ed/Libros/Manual%20de%20Diseno%20Geometrico%20de%20Carreteras.pdf>

I. **Hora de máxima demanda.** Para los 7 días que se realizó el aforo vehicular se determinó la hora donde ocurrió la máxima demanda. Se conoce que la máxima demanda se encuentra entre las 17:00h y las 19:00h, se procedió a establecer la totalidad de vehículos en ambos sentidos cada 15 minutos, para luego realizar la sumatoria de vehículos por hora, de tal manera que se pueda visualizar cual fue la hora de máxima demanda cada día.

Revisar ANEXO A. TPD de la semana comprendida del día 23 de mayo de 2019 al día 30 de mayo de 2019.

Día: jueves 23 de mayo del 2019

Hora de máxima demanda: 18:00 – 19:00

Tabla 32. Volumen horario 17:00-19:00 del 23/05/2019

23/05/2019	CEM - CAC	CAC - CEM	SUMA
17:00-17:15	201	112	313
17:15-17:30	207	111	318
17:30-17:45	185	143	328
17:45-18:00	217	132	349
18:00-18:15	223	158	381
18:15-18:30	123	157	280
18:30-18:45	259	167	426
18:45-19:00	253	104	357

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Volumen horario de máxima demanda 23/05/2019

17:00 - 18:00	1308
17:15 - 18:15	1376
17:30 - 18:30	1338
17:45 - 18:45	1436
18:00 - 19:00	1444

Fuente: Elaboración propia.

Día: viernes 24 de mayo del 2019

Hora de máxima demanda: 18:00-19:00

Tabla 34. Volumen horario 17:00-19:00 del 24/05/2019

24/05/2019	CEM - CAC	CAC - CEM	SUMA
17:00-17:15	155	128	283
17:15-17:30	165	122	287
17:30-17:45	331	140	471
17:45-18:00	94	141	235
18:00-18:15	176	128	304
18:15-18:30	177	162	339
18:30-18:45	210	140	350
18:45-19:00	236	125	361

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Volumen horario de máxima demanda 24/05/2019

17:00 - 18:00	1276
17:15 - 18:15	1297
17:30 - 18:30	1349
17:45 - 18:45	1228
18:00 - 19:00	1354

Fuente: Elaboración propia.

Día: sábado 25 de abril del 2019

Hora de máxima demanda: 17:00 – 18:00

Tabla 36. Volumen horario 17:00-19:00 del 25/05/2019

25/05/2019	CEM - CAC	CAC - CEM	SUMA
17:00-17:15	143	114	257
17:15-17:30	177	121	298
17:30-17:45	125	93	218
17:45-18:00	139	124	263
18:00-18:15	137	110	247
18:15-18:30	135	119	254
18:30-18:45	103	123	226
18:45-19:00	92	86	178

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Volumen horario de máxima demanda 25/05/2019

17:00 - 18:00	1036
17:15 - 18:15	1026
17:30 - 18:30	982
17:45 - 18:45	990
18:00 - 19:00	905

Fuente: Elaboración propia.

Día: Domingo 26 de abril del 2019

Hora de máxima demanda: 18:00 – 19:00

Tabla 38. Volumen horario 17:00-19:00 del 26/05/2019

26/05/2019	CEM - CAC	CAC - CEM	SUMA
17:00-17:15	112	103	215
17:15-17:30	91	67	158
17:30-17:45	102	124	226
17:45-18:00	98	95	193
18:00-18:15	107	97	204
18:15-18:30	100	97	197
18:30-18:45	177	99	276
18:45-19:00	106	88	194

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Volumen horario de máxima demanda 26/05/2019

17:00 - 18:00	792
17:15 - 18:15	781
17:30 - 18:30	820
17:45 - 18:45	870
18:00 - 19:00	871

Fuente: Elaboración propia.

Día: lunes 27 de abril del 2019

Hora de máxima demanda: 17:30 – 18:30

Tabla 40. Volumen horario 17:00-19:00 del 27/05/2019

27/05/2019	CEM - CAC	CAC - CEM	SUMA
17:00-17:15	104	103	207
17:15-17:30	180	124	304
17:30-17:45	217	213	430
17:45-18:00	220	172	392
18:00-18:15	203	133	336
18:15-18:30	236	129	365
18:30-18:45	225	99	324
18:45-19:00	161	135	296

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Volumen horario de máxima demanda 27/05/2019

17:00 - 18:00	1333
17:15 - 18:15	1462
17:30 - 18:30	1523
17:45 - 18:45	1417
18:00 - 19:00	1321

Fuente: Elaboración propia.

Día: martes 28 de abril del 2019

Hora de máxima demanda: 17:45 – 18:45

Tabla 42. Volumen horario 17:00-19:00 del 28/05/2019

28/05/2019	CEM - CAC	CAC - CEM	SUMA
17:00-17:15	92	124	216
17:15-17:30	156	119	275
17:30-17:45	192	127	319
17:45-18:00	205	121	326
18:00-18:15	180	161	341
18:15-18:30	227	157	384
18:30-18:45	200	172	372
18:45-19:00	151	131	282

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Volumen horario de máxima demanda 28/05/2019

17:00 - 18:00	1136
17:15 - 18:15	1261
17:30 - 18:30	1370
17:45 - 18:45	1423
18:00 - 19:00	1379

Fuente: Elaboración propia.

Día: miércoles 29 de abril del 2019

Hora de máxima demanda: 17:45 – 18:45

Tabla 44. Volumen horario 17:00-19:00 del 28/05/2019

29/05/2019	CEM - CAC	CAC - CEM	SUMA
17:00-17:15	120	128	248
17:15-17:30	158	122	280
17:30-17:45	203	133	336
17:45-18:00	224	110	334
18:00-18:15	186	145	331
18:15-18:30	233	167	400
18:30-18:45	223	154	377
18:45-19:00	150	124	274

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Volumen horario de máxima demanda 29/05/2019

17:00 - 18:00	1198
17:15 - 18:15	1281
17:30 - 18:30	1401
17:45 - 18:45	1442
18:00 - 19:00	1382

Fuente: Elaboración propia.

Comparación de la hora de máxima demanda de cada día. Del análisis anterior se puede afirmar que la hora de máxima demanda ocurrió el día martes 27 de abril desde las 17:30h hasta las 18:30h, con un volumen horario total en ambos sentidos de 1523 veh/h.

Tabla 46. Comparación de la hora de máxima demanda de cada día

Fecha	Hora. Máxima demanda	Total (veh/h)
23/05/2019	18:00 - 19:00	1444
24/05/2019	18:00 - 19:00	1354
25/05/2019	17:00 - 18:00	1036
26/05/2019	18:00 - 19:00	871
27/05/2019	17:30 - 18:30	1523
28/05/2019	17:45 - 18:45	1423
29/05/2019	17:45 - 18:45	1442

Fuente: Elaboración propia.

Revisar ANEXO B. Volumen vehicular de hora de máxima demanda.

II. **Composición vehicular.** A partir del TPDS obtenido del aforo vehicular, se calculó el porcentaje de vehículos livianos y pesados en el tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio Las Colinas hasta el puente que conduce al Centro Comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca.

% de vehículos livianos (taxis, particulares y motos) = 93.41%

% de vehículos pesados (buses, busetas y camiones) = 6.58%

Tabla 47. TPDS obtenidos sentido Cacique-Cementerio y Cementerio-Cacique

CACIQUE - CEMENTERIO										
FECHA	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	≥ C6	MOTOS
jue 23-04-2019	750	1264	73	117	19	7	0	0	0	1440
vie 24-04-2019	1476	3306	227	429	47	67	2	0	0	3647
sab 25-04-2019	1610	3114	192	78	71	42	3	0	0	2893
dom 26-04-2019	1429	2574	295	29	25	4	0	0	0	2010
lun 27-04-2019	1308	3393	230	299	74	15	1	0	1	2958
mar 28-04-2019	1260	2905	162	261	80	20	1	0	1	2761
mie 29-04-2019	1244	2877	160	269	71	20	1	0	1	2685
jue 30-04-2019	481	1326	106	159	66	11	1	0	1	1295
TOTAL	9558	20759	1445	1641	453	186	9	0	4	13783
CEMENTERIO - CACIQUE										
FECHA	TAXIS	PART.	BUSES	BUSETAS	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	≥ C6	MOTOS
jue 23-04-2019	922	2830	38	127	69	13	4	0	0	2029
vie 24-04-2019	1519	4225	196	223	113	54	0	0	0	3184
sab 25-04-2019	1521	4396	55	72	103	89	0	0	0	3170
dom 26-04-2019	1046	3081	73	30	27	5	0	0	0	2127
lun 27-04-2019	1407	4353	343	184	115	43	8	0	0	3496
mar 28-04-2019	1216	4202	88	177	81	21	0	0	0	3220
mie 29-04-2019	1248	4295	87	179	66	23	0	0	0	3204
jue 30-04-2019	894	421	125	158	66	11	1	1	1	821
TOTAL	9773	27803	1005	1150	640	259	13	1	1	14876

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. TPDS ambos sentidos.

CACIQUE-CEMENTERIO	47838
CEMENTERIO-CACIQUE	55521
TOTAL	103359

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49. Composición vehicular del tramo vial.

	Autos	Buses	Camiones	Buses+Camiones	TOTAL
veh/h	96552	5241	1566	6807	103359
	Autos	Buses	Camiones	Buses+Camiones	TOTAL
%	93.414216	5.070676	1.5151075	6.585783531	100

Fuente: Elaboración propia.

Revisar ANEXO C. Composición vehicular.

III. **Distribución por sentido.** A partir del TPDS por sentido obtenido del aforo vehicular se procede a calcular el porcentaje por sentido que transcurre por el tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio Las Colinas hasta el puente que conduce al Centro Comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca.

- % cacique cementerio = $(\text{TPDS cacique-cementerio} \cdot 100) / (\text{TPDS ambos sentidos})$

$$\% \text{ cacique cementerio} = (47838 \cdot 100) / (103359)$$

$$\% \text{ cacique cementerio} = 46.28\%$$

- % cacique cementerio = $(\text{TPDS cementerio-cacique} \cdot 100) / (\text{TPDS ambos sentidos})$

$$\% \text{ cacique cementerio} = (55521 \cdot 100) / (103359)$$

$$\% \text{ cacique cementerio} = 53.71\%$$

A partir de una aproximación de los datos anteriormente calculados se estima que la distribución por carril del tramo vial es de 50/50.

3.2.3 Estudio de velocidades. El viernes 31 de mayo del 2019, se realizó una toma de datos de velocidad a una muestra de 200 vehículos, con el fin de obtener la velocidad de proyecto.

En un trayecto de 50 metros del tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio Las Colinas hasta el puente que conduce al Centro Comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca, se contabilizó el tiempo en el que los vehículos demoraban en recorrer dicho trayecto.

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

I. Intervalos de clase. Debido a que el tamaño de la muestra para este estudio es de 200 vehículos incluyendo motos, el número de intervalos empleados son 11.

Tabla 50. Intervalos de clase.

Tamaño de la muestra n	Número de intervalos N
50-100	7-8
100-1000	10-11
1000-10000	14-15
10000-100000	17-18
Mayor de 100000	$1 + 3.3\log_{10}(n)$

Fuente: REYES, R.C.M. y CÁRDENAS, J. Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones (Séptima Ed.). México, D.F.: Ediciones Alfaomega. 1994.

paso del intervalo de clase = (velocidad máxima – velocidad mínima) / (N)

paso del intervalo de clase = (70–30) / (11)

paso del intervalo de clase = 3.64 ≈ 4

Por facilidad de acomodación de los datos se decide trabajar con un paso de 5, de tal manera que la velocidad mínima y la velocidad máxima se encuentre en el punto medio de los intervalos extremos.

II. Análisis de frecuencia

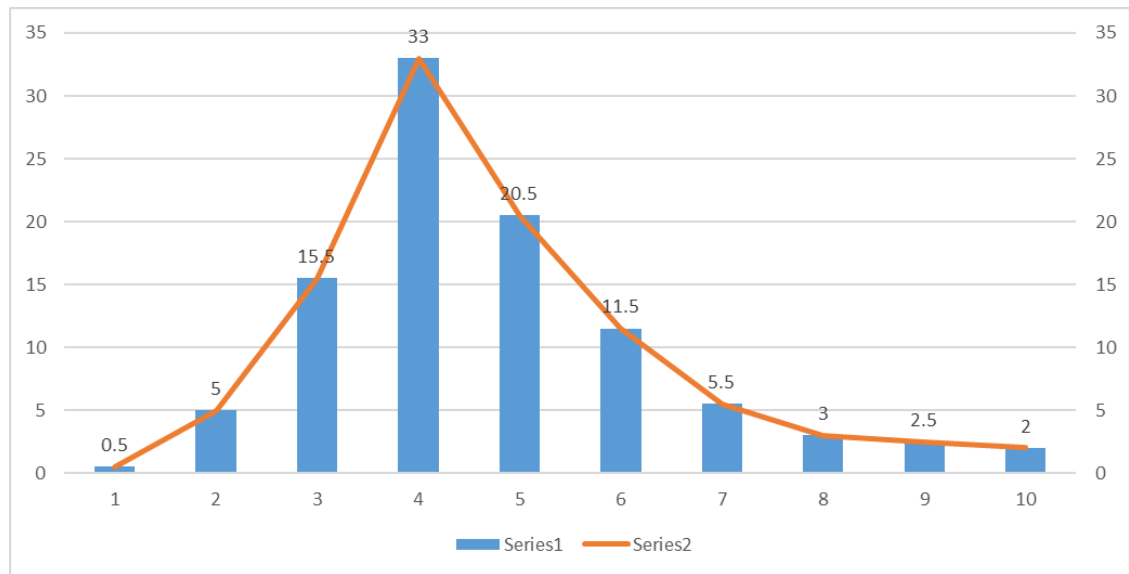
Tabla 51. Distribuciones de frecuencia de velocidad de punto.

No. De intervalo	Intervalo de clase grupo de velocidad		Punto Medio	Frecuencia Observada		Frecuencia acumulada		Vi ²	Vi*Fi	Fi*Vi ²
	Inicio	Fin		Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa			
1	27.50	31.49	30	1	0.5	1	0.5	900.0	30	900
2	31.50	35.49	34	10	5	11	5.5	1156.0	340	11560
3	35.50	39.49	38	31	15.5	42	21	1444.0	1178	44764
4	39.50	43.49	42	66	33	108	54	1764.0	2772	116424
5	43.50	47.49	46	41	20.5	149	74.5	2116.0	1886	86756
6	47.50	51.49	50	23	11.5	172	86	2500.0	1150	57500
7	51.50	55.49	54	11	5.5	183	91.5	2916.0	594	32076
8	55.50	59.49	58	6	3	189	94.5	3364.0	348	20184
9	59.50	63.49	62	5	2.5	194	97	3844.0	310	19220
10	63.50	67.49	66	4	2	198	99	4356.0	264	17424
11	67.5	71.49	70	2	1	200	100	4900.0	140	9800
TOTAL				200	100				8872	406808

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de frecuencia, primeramente, 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 3. Representación gráfica de los datos de velocidad de punto.



Fuente: Elaboración propia.

La imagen anterior muestra la velocidad de punto y la frecuencia con la que dicha velocidad sucede.

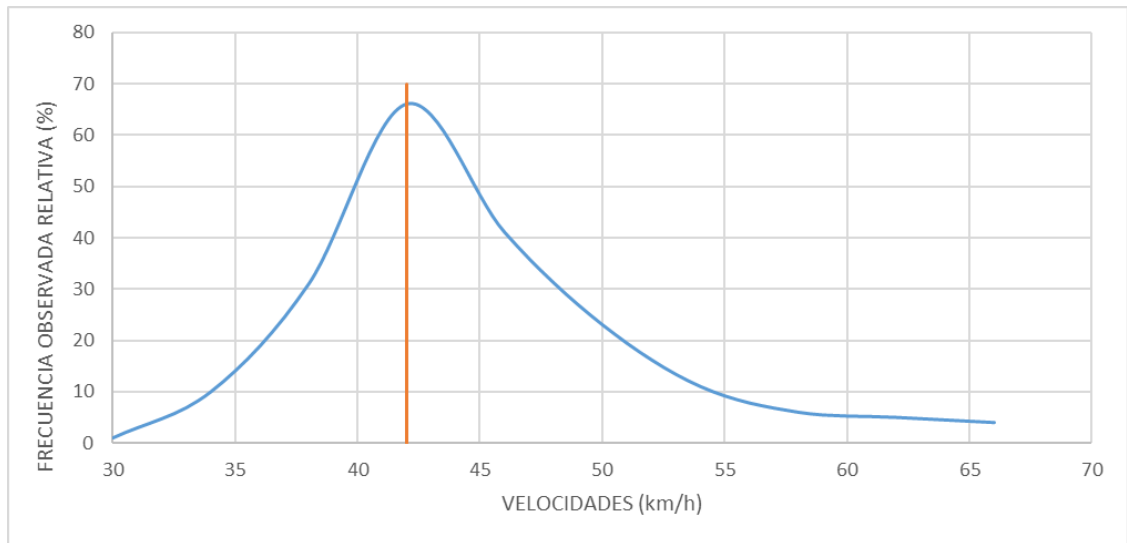
$$\text{Velocidad media de punto } (V_t) = (\sum f_i \cdot v_i) / (n)$$

$$\text{Velocidad media de punto } (V_t) = (8872) / (200)$$

$$\text{Velocidad media de punto } (V_t) = 44.36 \text{ km/h}$$

La velocidad media de punto es la velocidad esperada de cualquier vehículo al azar en el tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio Las Colinas hasta el puente que conduce al Centro Comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca.

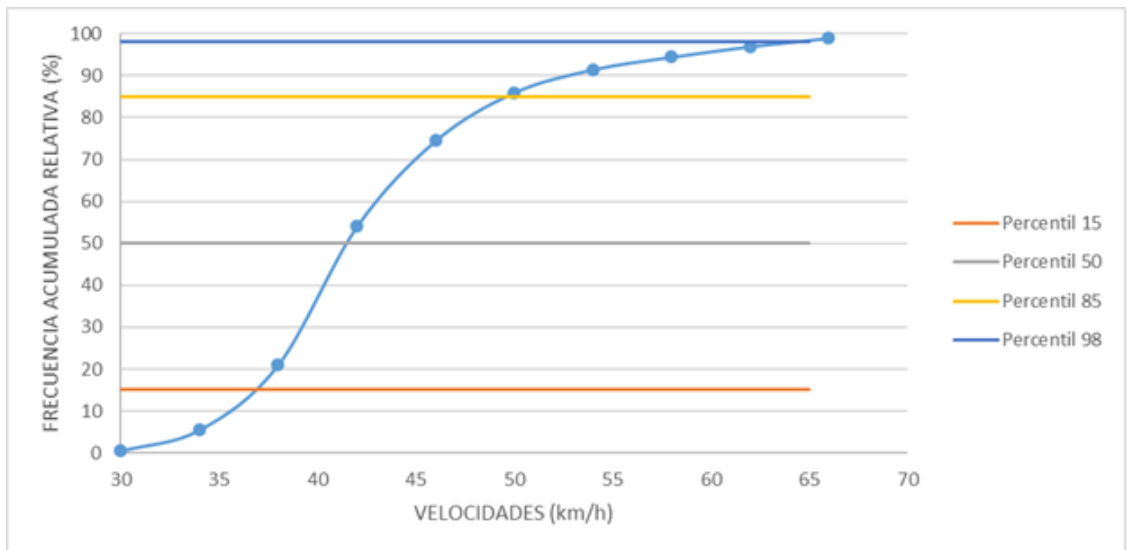
Figura 4. Velocidad media.



Fuente: Elaboración propia.

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

Figura 5. Percentiles para velocidades.



Fuente: Elaboración propia.

Límite inferior de velocidad (P15): 36.45 km/h.

Velocidad de medida de calidad del flujo vehicular (P50): 41.52 km/h.

Velocidad crítica (P85): 49.65 km/h.

Velocidad de proyecto (P98): 64 km/h.

Revisar ANEXO D. Estudio de velocidades.

3.3 CLASIFICACIÓN VIAL

Para clasificar en el sistema vial al tramo vial estudiado, es necesario tener el valor del TPDA obtenido, debido a que el aforo vehicular comprendió una semana (7 días), fue necesario estimar el valor del TPDA de la siguiente manera:

$$TPDA = TPDS \pm A$$

Donde:

A: Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS

$$A = K * E$$

Donde:

K: número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado

E: error estándar de la media.

$$E = \sigma$$

Donde:

σ : estimador de la desviación estándar poblacional.

$$\sigma = [S/(n)^{1/2}] * [(N-n)/(N-1)]^{1/2}$$

$$S = \text{RAIZ} [(TDi - TPDS)^2 / (n-1)]$$

Donde:

S: desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito diario o desviación estándar muestral.

N: Tamaño de la población en número de días del año.

n: tamaño de la muestra en número de días del año.

$$a) S = \text{RAIZ} \left[\frac{((13973-14765)^2 + (16666-14765)^2 + (15591-14765)^2 + (11514-14765)^2 + (16293-14765)^2 + (14662-14765)^2 + (14664-14765)^2)}{(7-1)} \right]$$

$$S = 1724.72$$

$$b) \sigma = \left[\frac{S}{(n)^{1/2}} \right] \cdot \left[\frac{(N-n)}{(N-1)} \right]^{1/2}$$

$$\sigma = \left[\frac{1724.72}{(7)^{1/2}} \right] \cdot \left[\frac{(365-7)}{(365-1)} \right]^{1/2}$$

$$\sigma = 641.14$$

$$c) A = K \cdot E$$

Para una confiabilidad de 95%, $K=1.96$

$$A = 1.96 \cdot 641.14$$

$$A = 1256.63 \text{ veh/hora}$$

$$d) \text{TPDA} = 14765 + 1256.63 = 16022 \text{ veh/día}$$

$$e) \text{TPDA} = 14765 - 1256.63 = 13509 \text{ veh/día}$$

El tramo estudiado, según la clasificación técnica oficial debería ser una carretera A4 según su Tránsito Promedio Diario Anual.

3.4 CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO CON BASE EN EL MANUAL DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES

Características de la vía

Ancho de carril: 3.40m.

Ancho de berma: 0.4m.

Tipo de terreno y pendiente promedio: ondulado, 4%.

Longitud del sector: 2.2 km.

Radio de la curva más cerrada: 90 m.

Estado de la superficie de rodadura: nivel funcional 4.

Características del tránsito

Distribución por sentidos: 50/50.

Porcentaje de zonas de no rebase: 30%.

Composición vehicular:

%automóviles: 93.41%.

%buses y camiones: 6.58.

Volumen horario total ambos sentidos (Q): 1523 veh /h/ambos sentidos.

Para el cálculo de la capacidad y nivel de servicio según el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles se realizan dos procedimientos separados, sin embargo, el valor obtenido de la capacidad es utilizado para estimar el valor de nivel de servicio.

La capacidad en condiciones ideales en ambos sentidos el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles la estima en:

$$C_i = 3200 \text{ veh/hora.}$$

Factores de corrección:

- a) Factor de corrección a la capacidad por pendiente (F_{pe}) = 0.94 (Tabla 2, pendiente 4%, longitud de la pendiente 2.2km).
- b) Factor de corrección a la capacidad por sentidos (F_d) = 1.00 (Tabla 3, distribución por sentido 50/50, porcentaje de zonas de no rebase 30%).
- c) Factor de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (F_{cb}) = 0.963 (Tabla 4, ancho de berma 0.40m y ancho de carril 3.40m).

d) Factor de corrección a la capacidad por presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (F_p) = 0.828 (Tabla 5, pendiente 4%, longitud de la pendiente 2.2 km, porcentaje de vehículos pesados 10%).

Capacidad del sector en vehículos mixtos por hora en ambos sentidos, sin tener en cuenta variaciones aleatorias.

$$e) C_{60} = C_i * f_{pe} * f_d * f_{cb} * f_p$$

$$C_{60} = 3200 * 0.94 * 1.00 * 0.963 * 0.828$$

$$C_{60} = 2398.47 \text{ veh/h/ambos sentidos} \approx 2399 \text{ veh/h/ambos sentidos}$$

Capacidad del sector en vehículos mixtos por hora en ambos sentidos, teniendo en cuenta las variaciones del volumen durante el periodo de cinco minutos de la hora pico.

$$f) C_5 = C_6 * FPH$$

$$FPH = 0.95 \text{ (Tabla 6, } C_{60}=2399 \text{ veh/h/ambos sentidos).}$$

$$C_5 = 2399 * 0.95$$

$$C_5 = 2279.05 \text{ veh/h/ambos sentidos} \approx 2279 \text{ veh/h/ambos sentidos}$$

$$g) Q / C_{60} = 1523 / 2399$$

$$Q / C_{60} = 0.6348$$

$$h) Q / C_5 = 1523 / 2279.05$$

$$Q / C_5 = 0.6682$$

Para obtener un valor de nivel de servicio el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles, parte de una velocidad inicial estimada según el valor y longitud de la pendiente del tramo estudiado.

a) Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes (V_i) = 71.2 veh/h (Tabla 7, pendiente 4%, longitud de la pendiente 2.2 km).

b) Factor de corrección al nivel de servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (f_u) = 0.799 (Tabla 8, relación $Q/C_{60} = 0.6348$).

c) Velocidad de automóviles a flujo restringido (V_1).

$$V_1 = V_i * f_u$$

$$V_1 = 71.2 * 0.799$$

$$V_1 = 56.888 \text{ veh/h}$$

d) Factor de corrección al nivel de servicio por el estado de la superficie de rodadura (f_{sr}) = 0.9862 (tabla 9, velocidad $V_1 = 56.8 \text{ veh/h}$, nivel funcional 4).

e) Factor de corrección por efecto combinado del ancho de carril y berma (f_{cb}) = 0.8545 (tabla 10, ancho de la berma 0.40m, ancho de carril 3.40m).

f) Velocidad de automóviles a flujo restringido para las condiciones que se estudian y en tangente (V_2).

$$V_2 = V_1 * f_{sr} * f_{cb}$$

$$V_2 = 56.888 * 0.9862 * 0.8545$$

$$V_2 = 47.9399 \text{ veh/h}$$

g) Factores de corrección al nivel de servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes (f_{p1}) = 0.933 (tabla 11, pendiente 4%, longitud de la pendiente 2.2km, $V_2 = 47.9399 \text{ veh/h}$).

h) Factores de corrección por la presencia de vehículos pesados (f_{p2}) = 1.00 (tabla 12, porcentaje de vehículos pesados 6.58%, volumen en ambos sentidos 1523 veh/h).

i) $f_p = f_{p1} * f_{p2}$; si $f_p > 1$ entonces $f_p = 1$

$$f_p = 0.93 * 1.00 = 0.93$$

j) $V_3 = V_2 * f_p$

$$V_3 = 47.94 * 0.93$$

$$V_3 = 44.58 \text{ veh/h}$$

k) Velocidad máxima que permite la curva más cerrada del sector (V_c) = 55.5veh/h (tabla 12, radio de curvatura 90m).

l) Se compara V_3 con V_c

$$V_3 < V_c$$

44.58 veh/h < 55.5 veh/h

$V_3 = V$

$V = 44.58 \text{ veh/h}$

Con base en la tabla 14, conociendo el tipo de terreno (ondulado) y velocidad media $V = 36.6594 \text{ veh/h}$, se obtiene un nivel de servicio D.

Revisar ANEXO E. Formulario para Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para Carreteras de Dos Carriles.

3.5 CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO CON BASE EN EL HCM-94

Características de la vía

Ancho de carril: 3.40m.

Ancho de berma: 0.4m.

Tipo de terreno y pendiente promedio: ondulado, 4%.

Características del tránsito

Reparto de tráfico por sentido:

Factor de hora punta, FHP:

Porcentaje de zonas de no rebase: 30%.

Composición vehicular:

%automóviles: 93.41%.

%Buses: 4.79.

%Camiones: 1.31.

Volumen horario total ambos sentidos (Q): 1523 veh /h/ambos sentidos.

Velocidad de proyecto: 64 km/h.

El planteamiento general es calcular las intensidades de servicio para cada nivel de servicio y comparar estos valores con la intensidad existente de la carretera.

- Intensidad para cada nivel de servicio: $IS_i = 2800 * (I/c) * f_R * f_A * f_{VP}$

PARA UN NIVEL DE SERVICIO A.

a) Valor de la relación $(l/c) = 0.085$ (tabla 17, Terreno ondulado, porcentaje de prohibido adelantar 30%).

b) Factor de ajuste por del reparto por sentido en tramos de características geométricas normales $f_R = 1.00$ (Tabla 15, reparto por sentidos 50/50).

c) Factor de ajuste para el efecto combinado de la anchura de los carriles y arcenes $f_A = 0.86$ (tabla 16, anchura de los carriles 3.40, anchura del arcén 0.4).

d) Equivalentes en vehículos ligeros de camiones, vehículos de recreo y autobuses para carreteras de dos carriles en tramos de condiciones geométricas normales. (Tabla 18, Tipo de vehículo, Nivel de servicio A).

$$E_C = 4.0$$

$$E_B = 3.0$$

e) Calculo del factor de vehículos pesados, para el nivel de servicio A.

$$f_{VP} = 1 / [1 + P_C (E_C - 1) + P_B (E_B - 1)]$$

$$f_{VP} = 1 / [1 + 0.0131 (4.0 - 1) + 0.0479 (3.0 - 1)]$$

$$f_{VP} = 0.88$$

Intensidad de servicio para el nivel de servicio A:

$$I_{Si} = 2800 * (l/c) * f_R * f_A * f_{VP}$$

$$I_{Si} = 2800 * (0.085) * 1.00 * 0.86 * 0.88$$

$$I_{Si} = 180.12 \text{ veh/h}$$

PARA UN NIVEL DE SERVICIO B.

a) Valor de la relación $(l/c) = 0.21$ (tabla 17, Terreno ondulado, porcentaje de prohibido adelantar 30%).

b) Factor de ajuste por del reparto por sentido en tramos de características geométricas normales $f_R = 1.00$ (Tabla 15, reparto por sentidos 50/50).

c) Factor de ajuste para el efecto combinado de la anchura de los carriles y arcenes $f_A = 0.86$ (tabla 16, anchura de los carriles 3.40, anchura del arcén 0.4).

d) Equivalentes en vehículos ligeros de camiones, vehículos de recreo y autobuses para carreteras de dos carriles en tramos de condiciones geométricas normales. (Tabla 18, Tipo de vehículo, Nivel de servicio B).

$$E_C=5.0$$

$$E_B=3.4$$

e) Calculo del factor de vehículos pesados, para el nivel de servicio B.

$$f_{VP} = 1 / [1 + P_C (E_C - 1) + P_B (E_B - 1)]$$

$$f_{VP} = 1 / [1 + 0.0131 (5.0 - 1) + 0.0479(3.4 - 1)]$$

$$f_{VP} = 0.86$$

Intensidad de servicio para el nivel de servicio B:

$$I_{Si} = 2800 * (I/c) * f_R * f_A * f_{VP}$$

$$I_{Si} = 2800 * (0.21) * 1.00 * 0.86 * 0.86$$

$$I_{Si} = 434.88 \text{ veh/h}$$

PARA UN NIVEL DE SERVICIO C.

a) Valor de la relación $(I/c) = 0.37$ (tabla 17, Terreno ondulado, porcentaje de prohibido adelantar 30%).

b) Factor de ajuste por del reparto por sentido en tramos de características geométricas normales $f_R = 1.00$ (Tabla 15, reparto por sentidos 50/50).

c) Factor de ajuste para el efecto combinado de la anchura de los carriles y arcenes $f_A = 0.86$ (tabla 16, anchura de los carriles 3.40, anchura del arcén 0.4).

d) Equivalentes en vehículos ligeros de camiones, vehículos de recreo y autobuses para carreteras de dos carriles en tramos de condiciones geométricas normales. (Tabla 18, Tipo de vehículo, Nivel de servicio C).

$$E_C=5.0$$

$$E_B=3.4$$

e) Calculo del factor de vehículos pesados, para el nivel de servicio C.

$$f_{VP} = 1 / [1 + P_C (E_C - 1) + P_B (E_B - 1)]$$

$$f_{VP} = 1 / [1 + 0.0131 (5.0 - 1) + 0.0479(3.4 - 1)]$$

$$f_{VP} = 0.86$$

Intensidad de servicio para el nivel de servicio C:

$$ISi=2800*(I/c) *f_R*f_A*f_{VP}$$

$$ISi=2800*(0.37) *1.00*0.86*0.86$$

$$ISi=766.22 \text{ veh/h}$$

PARA UN NIVEL DE SERVICIO D.

a) Valor de la relación $(I/c) = 0.545$ (tabla 17, Terreno ondulado, porcentaje de prohibido adelantar 30%).

b) Factor de ajuste por del reparto por sentido en tramos de características geométricas normales $f_R = 1.00$ (Tabla 15, reparto por sentidos 50/50).

c) Factor de ajuste para el efecto combinado de la anchura de los carriles y arcones $f_A = 0.86$ (tabla 16, anchura de los carriles 3.40, anchura del arcén 0.4).

d) Equivalentes en vehículos ligeros de camiones, vehículos de recreo y autobuses para carreteras de dos carriles en tramos de condiciones geométricas normales. (Tabla 18, Tipo de vehículo, Nivel de servicio D).

$$E_C=5.0$$

$$E_B=2.9$$

e) Calculo del factor de vehículos pesados, para el nivel de servicio D.

$$f_{VP}= 1/ [1+P_C (E_C-1) +P_B(E_B-1)]$$

$$f_{VP}= 1/ [1+0.0131 (5.0-1) +0.0479(2.9-1)]$$

$$f_{VP}= 0.87$$

Intensidad de servicio para el nivel de servicio D:

$$ISi=2800*(I/c) *f_R*f_A*f_{VP}$$

$$ISi=2800*(0.545) *1.00*0.86*0.87$$

$$ISi=1141.75 \text{ veh/h}$$

PARA UN NIVEL DE SERVICIO E.

a) Valor de la relación $(I/c) = 0.93$ (tabla 17, Terreno ondulado, porcentaje de prohibido adelantar 30%).

b) Factor de ajuste por del reparto por sentido en tramos de características geométricas normales $f_R = 1.00$ (Tabla 15, reparto por sentidos 50/50).

c) Factor de ajuste para el efecto combinado de la anchura de los carriles y arcenes $f_A = 0.877$ (tabla 16, anchura de los carriles 3.40, anchura del arcén 0.4).

d) Equivalentes en vehículos ligeros de camiones, vehículos de recreo y autobuses para carreteras de dos carriles en tramos de condiciones geométricas normales. (Tabla 18, Tipo de vehículo, Nivel de servicio C).

$$E_C=5.0$$

$$E_B=2.9$$

e) Calculo del factor de vehículos pesados, para el nivel de servicio E.

$$f_{VP} = 1 / [1 + P_C (E_C - 1) + P_B (E_B - 1)]$$

$$f_{VP} = 1 / [1 + 0.0131 (5.0 - 1) + 0.0479 (2.9 - 1)]$$

$$f_{VP} = 0.87$$

Intensidad de servicio para el nivel de servicio E:

$$I_{Si} = 2800 * (I/C) * f_R * f_A * f_{VP}$$

$$I_{Si} = 2800 * (0.93) * 1.00 * 0.877 * 0.87$$

$$I_{Si} = 1986.85 \text{ veh/h}$$

Intensidad de servicio según el nivel de servicio.

Tabla 52. Intensidad para cada Nivel de Servicio.

Nivel de servicio	Intensidad de servicio ISI (veh/h)
A	180.12
B	429.83
C	757.316
D	1141.75
E	1986.85

Fuente: Elaboración propia.

Conversión de los volúmenes existentes o provisionales a una intensidad equivalente:

$$I=Q/FHP$$

FHP=0.95 (Tabla x, intensidad horaria total de calzada 1523veh/h)

$$I=1523/0.95$$

$$I=1603.16$$

Teniendo en cuenta que la intensidad horaria obtenida fue de 1603.16 *veh/h*, se puede afirmar que el nivel de servicio es E, por su cercanía con el valor de 1986.85 *veh/h*.

Revisar ANEXO F. Formulario para Highway Capacity Manual 1994.

3.6 NIVEL DE SERVICIO CON BASE EN EL HCM-2000

Datos geométricos requeridos:

Carretera: Clase II.

Ancho de carril: 3.4m.

Ancho de berma: 0.4m.

Longitud del tramo: 2.2km.

Puntos de acceso por km: 1 puntos de acceso/km.

Tipo de terreno general: Ondulado.

Porcentaje de no rebase: 30%.

BFFS: 64 km/h.

Datos de demanda requeridos:

PHF: 0.885.

Distribución por sentidos: 50/50.

Composición vehicular:

% Vehículos livianos: 93,89%.

% Vehículos pesados: 6,11%.

Volumen horario total en ambos sentidos (Q): 1523 veh/h/ambos sentidos.

a. Factor grado de ajuste para velocidad promedio de viaje (f_G) = 0.99 (Tabla 22, volumen horario total en ambos sentidos (Q) = 1523 veh/h/ambos sentidos, terreno ondulado).

b. Equivalentes en vehículos ligeros de camiones, vehículos de recreo y autobuses para carreteras de dos carriles en tramos de condiciones geométricas normales, para determinar la velocidad en ambos sentidos:

$E_T = 2.5$ (Tabla 24. Tipo de terreno ondulado, rango de camiones que fluyen en ambas direcciones > 1.200)

$E_R = 1.1$ (Tabla 24. Tipo de terreno ondulado, rango de vehículos recreativos que fluyen en ambas direcciones = 0)

c. Factor de ajuste de vehículos pesados para determinar la velocidad en ambos sentidos (f_{HV}):

$$f_{HV} = (1)/(1 + P_T * (E_T - 1) + P_R * (E_R - 1))$$

$$f_{HV} = (1)/(1 + 0.0611 * (2.5 - 1) + 0 * (1.1 - 1))$$

$$f_{HV} = 0.916$$

d. Tasa de flujo (V_P):

$$V_P = (V)/(PHF * f_G * f_{HV})$$

$$V_P = (1523)/(0.885 * 0.99 * 0.916)$$

$$V_P = 1898 \text{ veh/h}$$

e. Flujo direccional más alto: (Distribución direccional: 50/50, tasas de flujo (V_p) = 1898 veh/h).

$$(0.5) * V_p = 949 \text{ veh/h}$$

$$(0.25) * V_p = 474.5 \text{ veh/h}$$

f. Chequeo del flujo direccional respecto a los valores de capacidad: 3.200 veh/h y 1.700 veh/h. Si se realiza el chequeo y no cumple, el Nivel de Servicio se considera F.

949 veh/h < 3.200 veh/h, cumple.

474.5 < 1.700 veh/h, cumple.

g. Factor de ajuste para ancho de carril y ancho de berma (f_{LS}) = 7.5. (Tabla 26. ancho de carril = 3.4m y ancho de berma = 0.4m).

h. Factor de ajuste para densidad de puntos de acceso (f_A) = 0.66 (Tabla 27, puntos de acceso por km = 1).

i. Velocidad de flujo libre (FFS):

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

$$FFS = 64 - 7.5 - 0.66$$

$$FFS = 55.84 \text{ km/h}$$

j. Ajuste para porcentaje de zonas de no rebase en la dirección de análisis (f_{np}) 1.12. (Tabla 28. volumen horario total en ambos sentidos (Q) = 1523 veh/h/ambos sentidos, porcentaje de zonas de no rebase 30%).

k. Velocidad de viaje promedio (ATS) = 31 km/h.

$$ATS = FFS - 0.0125 * V_p - f_{np}$$

$$ATS = 55.84 - 0.0125 * 1898 - 1.12$$

$$ATS = 31 \text{ km/h}$$

l. Factor grado de ajuste de pendiente para determinar el porcentaje de tiempo dedicado a avanzar en dos sentidos y segmentos direccionales (f_G) = 1.0 (Tabla 23. volumen horario total en ambos sentidos (Q) = 1523 veh/h/ambos sentidos, terreno ondulado).

m. Vehículos equivalentes para camiones y vehículos recreativos (RVs) para determinar el porcentaje de tiempo dedicado a avanzar en ambos sentidos:

ET = 1.8 (Tabla 25. Tipo de terreno ondulado, rango de camiones que fluyen en ambas direcciones > 1.200).

ER = 1.0 (Tabla 25. Tipo de terreno ondulado, rango de vehículos recreativos que fluyen en ambas direcciones = 0).

n. Factor de ajuste de vehículos pesados para determinar el porcentaje de tiempo dedicado a avanzar en ambos sentidos (f_{HV}):

$$f_{HV} = (1)/(1+P_T*(E_T-1)+P_R*(E_R-1))$$

$$f_{HV} = (1)/(1+0.0611*(1.8-1)+0*(1-1))$$

$$f_{HV} = 0.953$$

o. Tasa de flujo (V_P):

$$V_P = (V)/(PHF*f_G*f_{HV})$$

$$V_P = (1523)/(0.885*1.0*0.953)$$

$$V_P = 1806 \text{ veh/h}$$

p. Chequeo del flujo direccional respecto a los valores de capacidad: 3.200 veh/h y 1.700 veh/h. Si se realiza el chequeo y no cumple, el Nivel de Servicio se considera F:

903veh/h < 3.200veh/h, cumple.

451.5veh/h < 1.700veh/h, cumple.

q. Porcentaje tiempo base promedio empleado en marcha (BPTSF):

$$BPTSF = 100*(1-e^{(-0.000879*V_P)})$$

$$BPTSF = 100*(1-e^{(-0.000879*1.806)})$$

$$BPTSF = 79.55\%$$

r. Ajuste para el efecto combinada de distribución direccional de tráfico y porcentaje de zonas de no rebase ($f_{d/np}$) = 4.099 (Tabla 29. volumen horario total en ambos sentidos (Q) = 1523 veh/h/ambos sentidos, porcentaje de zonas de no rebase = 30%, distribución por sentido = 50/50).

s. Porcentaje tiempo promedio empleado en marcha (PTSF):

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

$$PTSF = 79.55\% + 4.099$$

$$PTSF = 83.65\%$$

t. Se obtienen un nivel de servicio (NDS) = D (Tabla 30. PTSF = 83.65%)
 Revisar ANEXO G. *Formulario para Highway Capacity Manual 2000*

4. ANALISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Cabe destacar que la principal diferencia entre el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles y el Highway Capacity Manual (94 y 2000) es el cálculo independiente de la capacidad y nivel de servicio, fundamento que rige el manual colombiano. Por lo tanto, el siguiente cuadro comparativo carece de los valores de capacidad para el HCM-94 y el HCM2000.

Tabla 53. Comparación de resultados obtenidos.

Norma	Capacidad	Nivel de Servicio
Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles	C ₆₀ = 2399 veh/h/ambos sentidos	D
	C ₅ = 2279 veh/h/ambos sentidos	
Highway Capacity Manual 94	-	E
Highway Capacity Manual 2000	-	D

El manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles en comparación con el HCM-94 y HCM-2000 establece un nivel de servicio superior en calidad en el tramo vial estudiado, de lo que se puede inferir que la exigencia de sus variables y los factores de corrección que aplica no poseen la misma exigencia que los factores de las normativas americanas.

El Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles utiliza como parámetro fundamental en su metodología el valor de velocidad media de recorrido de vehículos livianos y pesados, el cual está ligado a los valores de pendiente y longitud del sector, también tiene en cuenta el grado de saturación el

cual está determinado por la relación de volumen horario y la capacidad en vehículos mixtos por hora considerando variaciones aleatorias.

El Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles es el único entre las tres normativas abarcadas en esta investigación que tiene en cuenta la curvatura, la cual condiciona la velocidad de los vehículos. Este valor es utilizado para el cálculo de la capacidad, el cual afecta de manera significativa el valor del nivel de servicio.

La metodología empleada por el HCM-94 se basa fundamentalmente en los conceptos de movilidad y accesibilidad, por lo cual emplea como parámetro de resultado de nivel de servicio el valor de intensidad total de la calzada en veh/h.

El Highway Capacity Manual introduce el factor de demora, el cual se encuentra implícito en la relación Intensidad-Capacidad (I/c), el valor de este factor varía en función del nivel de servicio, el tipo de terreno y la posibilidad de adelantamiento en la vía.

El Highway Capacity Manual 2000 tiene en cuenta en su metodología un factor condicionante que se limita con base a la velocidad de proyecto, la cual fue calculada con los datos obtenidos en campo, dicho factor es la velocidad de flujo libre base (BFFS), que condiciona la velocidad a flujo libre (FFS) que hace referencia a la velocidad del tráfico a un volumen bajo y de baja densidad. Dichos valores poseen incidencia directa con el valor de nivel de servicio obtenido ya que van afectando directamente el porcentaje de tiempo transcurrido avanzando (PTSF)

Respecto a la incidencia del valor de la pendiente el Highway Capacity Manual 2000 posee un valor de ajuste por efecto de la pendiente mientras que el Highway Capacity Manual 94 no tiene un valor de ajuste explícito referente a ella, sin

embargo, se encuentra como valor implícito en el tipo de terreno; respecto a el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carretera de dos carriles dicho valor se encuentra implícito en el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados.

El Highway Capacity Manual 94, Highway Capacity Manual 2000 y el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles utilizan como parámetros para el cálculo de los factores de corrección variables como son: ancho de berma, ancho de carril, distribución por sentido, porcentaje de zonas de no rebase, composición vehicular, volumen horario total, tipo de terreno. Aunque todas estas variables sean determinantes para las tres normativas quizá la incidencia de la exigencia implícita de cada una de ellas varíe y por dicha razón exista variabilidad en los valores de nivel de servicio obtenidos.

El factor determinante para obtener el nivel de servicio varía según cada normativa, para el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carretera de dos carriles se utiliza la velocidad media, para el Highway Capacity Manual 94, se utiliza la Intensidad total de la calzada y para el Highway Capacity Manual 2000 se utiliza el porcentaje de tiempo transcurrido avanzado. La metodología empleada en cada normativa es diferente, por dicha razón el valor del nivel de servicio no es igual por los tres métodos. Sin embargo, los valores obtenidos para el tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca poseen un grado de similitud.

5. CONCLUSIONES

A partir de una toma de información de campo en el tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca se obtuvo un Tránsito Promedio Diario Semanal de 14766 veh/día, un volumen horario total de 1523 veh/h, y una velocidad de proyecto de 64 km/h.

Con base al TPDS obtenido de la labor de campo que fue de 14766 veh/día, se calculó un TPDA de [13498-16033] veh/día, según esto el libro de Ingeniería del Tránsito de Cal y Mayor clasifica el tramo vial correspondiente desde la intersección

vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca como una carretera de tipo A4, esto hace referencia una carretera de 4 carriles. De dicha información podemos inferir que el tramo vial estudiado debería a cambiarse a una doble calzada.

Según la metodología empleada por el manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles, el tramo vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca tiene una capacidad de 2399 veh/h/ en ambos sentidos sin tener en cuenta las variaciones aleatorias y una capacidad de 2279 veh/h en ambos sentidos teniendo en cuenta dichas variaciones.

Tanto el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carretera de dos carriles clasifica el tramo vial estudiado con un nivel de servicio D, esto representa que la vía es próxima a inestable, la densidad de circulación es elevada y la velocidad y libertad de maniobra están seriamente restringidas; mientras el Highway Capacity

Manual 94 clasifica el mismo tramo vial con un nivel de servicio E, esto quiere decir que la vía está al límite de su capacidad, es inestable y se producen colapsos. A partir de una toma de información de campo en el tramo desde la intersección vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca se obtuvo un Tránsito Promedio Diario Semanal de 14766 veh/día, un volumen horario total de 1523 veh/h, y una velocidad de proyecto de 64 km/h.

Con base al TPDS obtenido de la labor de campo que fue de 14766 veh/día, se calculó un TPDA de [13498-16033] veh/día, según esto el libro de Ingeniería del Tránsito de Cal y Mayor clasifica el tramo vial correspondiente desde la intersección vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca como una carretera de tipo A4, esto hace referencia a una carretera de 4 carriles. De dicha información podemos inferir que el tramo vial estudiado debería cambiarse a una doble calzada.

Según la metodología empleada por el manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles, el tramo vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca tiene una capacidad de 2399 veh/h/ en ambos sentidos sin tener en cuenta las variaciones aleatorias y una capacidad de 2279 veh/h en ambos sentidos teniendo en cuenta dichas variaciones.

El manual de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles establece a partir de una serie de criterios que el tramo vial que conduce al cementerio las colinas hasta el puente que conduce al centro comercial Cacique de la vía antigua Bucaramanga-Floridablanca posee un nivel de servicio D, lo que implica que es una vía próxima a inestable.

El Highway Capacity Manual 94 establece según su metodología que el tramo vial estudiado posee un nivel de servicio E, esto quiere decir que el funcionamiento de la vía está muy cerca del límite de su capacidad. La circulación de los vehículos es inestable y se producen colapsos.

6. RECOMENDACIONES

Según la clasificación vial obtenida del tramo estudiado, se recomienda modificar la vía a una doble calzada, con el fin de que esta sea capaz de absorber el flujo de tránsito presente.

La toma de datos de velocidad fue llevada a cabo, para el desarrollo de este proyecto, en un trayecto de 50 metros del tramo vial y se tomó una muestra de 200 vehículos, dicho trabajo de campo fue necesario para obtener la velocidad mínima la cual determina que en valores inferiores a esta hay congestión, la velocidad media, la cual es la velocidad esperada por cualquier vehículo en el tramo vial estudiado, la velocidad de operación, la cual está relacionada con los dispositivos de control y la velocidad de diseño o de proyecto, la cual es la velocidad con la que se debe rediseñar el tramo vial. La velocidad de diseño o velocidad de proyecto del tramo vial, es usada para determinar el nivel de

servicio en el HCM-2000. Se recomienda de igual manera para la toma de datos de velocidad en campo, el método del vehículo flotante.

El trabajo de campo realizado para obtener los datos necesarios de tránsito, fue llevado a cabo en la semana del 23/05/2019 hasta el 30/05/2019, dicha toma de datos fue realizada todos los días de la semana durante las 24 horas del día en un punto estratégico del tramo vial, en el cual se considera que el volumen de tránsito se mantiene uniforme. Sin embargo, ya que el tramo vial seleccionado que comprende de 2.2 km posee dos puntos de acceso durante toda su longitud se recomienda tomar datos de tránsito en dos puntos adicionales para aportar mayor confiabilidad a los datos obtenidos. Cabe destacar que el Highway Capacity Manual 2000 incluye un factor de corrección al nivel de servicio por el número de puntos de acceso por km.

BIBLIOGRAFÍA

CASTRO PABÓN, R. G. Parque Automotor de Bucaramanga y su Área Metropolitana [En línea]. 2015. (Consultado el 02 de Agosto del 2019). Obtenido de Dirección de Tránsito de Bucaramanga: <http://www.transitobucaramanga.gov.co/files/direccion/parque-automotor-2015.pdf>

CENTRO DE NOTICIAS ONU. Más de la mitad de la población vive en áreas urbanas y seguirá creciendo [En línea]. 2014. (Consultado el 02 de Agosto del 2019) Obtenido de la Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>

DIRECCIÓN DE TRÁNSITO DE BUCARAMANGA. Estadísticas: parque automotor [En línea]. 2018. (Consultado el 02 de Agosto del 2019). Obtenido de: <https://www.transitobucaramanga.gov.co/parque-automotor.php>

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de diseño geométrico de carreteras [En línea]. Bogotá, D.C.: Ministerio de transporte. 2008. (Consultado el 03 de agosto del 2019). Obtenido de <http://artemisa.unicauca.edu.co/~carboled/Libros/Manual%20de%20Diseno%20Geometrico%20de%20Carreteras.pdf>

RADELAT EGÜES, G. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (Segunda Ed.). Popayán: Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca. 1996.

REYES, R.C.M. y CÁRDENAS, J. Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones (Séptima Ed.). México, D.F.: Ediciones Alfaomega. 1994.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, Washington, D.C.: National Research Council, 2000.

_____, Manual de capacidad de carreteras (Tercera ed.), Washington, D.C.: National Research Council, 1994.