



**Análisis de la capacidad y el nivel de servicio de la doble calzada
Buga-Tuluá-La Paila-La Victoria aplicando el manual para vías
multicarril del Invias 2022**

Autor:

Olmer Octavio Arias Echeverry

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería-Infraestructuras y Sistemas de Transporte**

Director:

Diego Alexander Escobar García

**Ingeniero civil, Magister en Ingeniería Civil, Doctor en Gestión del Territorio e
Infraestructuras del Transporte**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Civil

Manizales, Colombia

2023

Resumen

La carretera Buga-La Paila-La Victoria pertenece al grupo de las concesiones de primera generación de Colombia estructurada en el año de 1993, y hace parte de los corredores estratégicos para la economía del país, Bogotá-Buenaventura y Medellín-Buenaventura.

En la actualidad, la vía presenta altos volúmenes de tránsito y congestiones vehiculares que sugieren una alteración de la velocidad, la capacidad de la vía y consigo un bajo nivel de servicio ofrecido a sus usuarios, sin que exista en la actualidad un estudio que demuestre técnicamente la veracidad de estas presuntas afectaciones.

De acuerdo con lo anterior, en este trabajo final se busca presentar el procedimiento y los posteriores resultados del estudio que conduzca a la determinación de la capacidad y el nivel de servicio de la doble calzada Buga-La Paila-La Victoria, aplicando la metodología para vías multicarril vigente del Instituto Nacional de Vías de Colombia, publicada en el año 2022. En adición, se comparan los resultados obtenidos, con los encontrados con la metodología contenida en el Highway Capacity Manual 2016 del Transportation Research Board, de los Estados Unidos.

PALABRAS CLAVE: Carretera multicarril, capacidad vial, nivel de servicio, calidad de la infraestructura vial.

Analysis of the capacity and level of service of the Buga-Tuluá-La Paila-La Victoria dual carriageway applying the Invias 2002 manual for multi-lane roads.

Abstract

The Buga-La Paila-La Victoria highway belongs to the group of first generation concessions in Colombia, structured in 1993, and is part of the strategic corridors for the country's economy, Bogotá-Buenaventura and Medellín-Buenaventura.

At present, the road presents high traffic volumes and vehicular congestion that suggest an alteration of the speed, the capacity of the road and with it a low level of service offered to its users, without there being at present a study that technically demonstrates the veracity of these alleged affectations.

In accordance with the above, this final work seeks to present the procedure and subsequent results of the study leading to the determination of the capacity and level of service of the Buga-La Paila-La Victoria dual carriageway, applying the methodology for multi-lane roads in force of the National Roads Institute of Colombia, published in the year 2022. In addition, the results obtained are compared with those found with the methodology contained in the Highway Capacity Manual 2016 of the Transportation Research Board of the United States.

KEY WORDS: Multi-Lane road, road capacity, level of service, road infrastructure quality.

Tabla de contenido

1.	Descripción del problema	11
1.1	Antecedentes del proyecto vial.....	12
1.2	Estado del tramo vial.....	13
2.	Objetivos	15
2.1	Objetivo General	15
2.2	Objetivos específicos	15
3.	Alcance y condiciones del estudio.....	16
4.	Marco teórico	17
4.1	Generalidades.....	17
4.2	Carretera multicarril.....	17
4.3	Capacidad vial.....	17
4.4	Nivel de servicio	18
4.4.1	Condiciones prevalecientes.....	21
4.4.2	Conceptos sobre las características de la infraestructura.....	21
4.4.3	Condiciones del medio ambiente.....	22
4.4.4	Condiciones del tránsito	23
4.4.5	Condiciones de los controles.....	23
5.	Metodología	23
5.1	Paso 1 – Proceso de sectorización	24
5.1.1	Tramos genéricos.....	25
5.1.2	Rampas de ascenso y descenso.....	26
5.1.3	Variables relacionadas con la geometría.....	27
5.1.4	Variables relacionadas con el tránsito	27
5.2	Paso 2 - Determinación de la velocidad a flujo libre	28
5.2.1	Determinación de la velocidad a flujo libre, FL	29
5.2.2	Estimación de la velocidad genérica, VG.....	30
5.2.3	Elección de la curva maestra (flujo-velocidad) de referencia	33
5.3	Paso 3 - Cálculo del flujo vehicular.....	34
5.3.1	Equivalente de camiones	35
5.3.2	Rampas en ascenso.....	36
5.3.3	Rampas en descenso.....	36
5.4	Paso 4 – Determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis	36
5.5	Paso 5 - Cálculo de la densidad.....	37

5.6	Paso 6 – Cálculo del nivel de servicio, NS	38
5.7	Cálculo del nivel de servicio por el método HCM 2016.....	39
5.8	Cálculo del nivel de servicio bajo la influencia de motocicletas y en estacionalidades....	40
6.	Resultados	41
6.1	Cálculo según manual de capacidad y niveles de servicio multicarril del INVIAS 2022. 41	
6.1.1	Paso 1-Sectorización	41
6.1.2	Pasos 2 y 3 - Determinación de la velocidad a flujo libre	47
6.1.3	Paso 4- Determinación del flujo vehicular en la hora pico en ade/h/carril	52
6.1.4	Paso 5 – Estimar para cada sector velocidad a flujo libre, capacidad, densidad. .	55
6.1.5	Paso 6 - Cálculo del nivel de servicio NS	58
6.1.6	Nivel de servicio en rampas de ascenso y descenso.....	62
6.2	Cálculo del nivel de servicio según manual HCM 2016	63
6.2.1	Paso 1 - Dividir el tramo en sectores	63
6.2.2	Paso 2 - Asignar una velocidad a flujo libre base a cada sector, en millas/h	65
6.2.3	Paso 3 - Ajustes de la velocidad a flujo libre base, por características de la vía ...	65
6.2.4	Paso 4 - Determinar el flujo vehicular de la hora pico, en ade/h/carril.....	70
6.2.5	Paso 5 - Cálculo del nivel de servicio NS	77
6.3	Cálculo de nivel de servicio con velocidad a flujo libre VFL medida con radar	80
6.4	Comparativo entre niveles de servicio, NS, por INVIAS 2022 y por HCM 2016	82
6.5	Cálculo del nivel de servicio bajo la influencia de motocicletas y en estacionalidades....	84
6.5.1	Efectos de la presencia de motocicletas sobre el nivel de servicio, NS.	85
6.5.2	Cálculo del nivel de servicio, NS, con la incidencia de motocicletas	86
6.5.3	Nivel de servicio, NS, en períodos estacionales	88
6.5.4	Comparativo entre el NS en día promedio y en periodos estacionales	91
6.5.5	Balance de los resultados	93
7.	Pronóstico de nivel de servicio futuro y modelación de opciones de mejora.....	93
8.	Conclusiones.....	100
9.	Recomendaciones	102
10.	Referencias.....	103
11.	Anexos.....	105

Índice de tablas

Tabla 5-1 Clasificación de las vías multicarril según sus características geométricas.....	30
Tabla 5-2 Velocidad genérica por tipo de carretera.....	31
Tabla 5-3 Valores de ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho de carril.....	32
Tabla 5-4 Valores de ajuste de la velocidad genérica por ancho del separador	32
Tabla 5-5 Valores de ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho de bermas.....	32
Tabla 5-6 Valores de ajuste de la velocidad genérica por densidad de accesos	33
Tabla 5-7 Equivalente de camiones para tipo de terreno genérico.....	35
Tabla 5-8 Niveles de servicio en carreteras multicarril de Colombia	39
Tabla 6-1 Sectorización de la vía.....	44
Tabla 6-2 Rampas de ascenso	46
Tabla 6-3 Rampas de descenso	46
Tabla 6-4 Densidad de puntos de acceso	48
Tabla 6-5 Factores geométricos por sector	50
Tabla 6-6 Flujos vehiculares en la hora pico en ade/h/carril.....	53
Tabla 6-7 Información de entrada para cálculo del nivel de servicio NS INVIAS 2022	56
Tabla 6-8 Resultados del nivel de servicio NS método INVIAS 2022	60
Tabla 6-9 Nivel de servicio, NS, en rampas de ascenso	62
Tabla 6-10 Nivel de servicio, NS, en ramas de descenso	62
Tabla 6-11 Sectorización y relación de velocidad predominante HCM2016	63
Tabla 6-12 Ajustes por ancho de carril HCM2016.....	66
Tabla 6-13 Ajuste por despeje lateral HCM2016.....	67
Tabla 6-14 Ajuste por densidad de puntos de acceso HCM2016.....	67
Tabla 6-15 Características de los sectores HCM2016	68
Tabla 6-16 Automóviles directos equivalentes, ade, según el tipo de terreno HCM2016	72
Tabla 6-17 Flujos vehiculares en la hora pico HCM 2016	72
Tabla 6-18 Datos para cálculo de la densidad y nivel de servicio HCM2016.....	74

Tabla 6-19 Relación de la velocidad y la capacidad en ade/h/carril HCM2016	76
Tabla 6-20 Resultados del nivel de servicio NS según manual HCM2016	78
Tabla 6-21 Nivel de servicio, NS, en sectores donde se midió velocidad con radar	80
Tabla 6-22 Comparativo entre NS con VFL con radar y velocidad ajustada HCM2016.....	81
Tabla 6-23 Comparativo de nivel de servicio, NS, por INVIAS 2022 Y HCM 2016	82
Tabla 6-24 Flujo máximo horario de motocicletas	85
Tabla 6-25 Nivel de servicio con la incidencia del flujo vehicular de motos	86
Tabla 6-26 Periodos estacionales y flujos vehiculares año 2021 a 2022.....	88
Tabla 6-27 Flujo vehicular y nivel de servicio (NS) en periodos estacionales.....	89
Tabla 6-28 Comparativo del nivel de servicio en día promedio y periodos estacionales	91
Tabla 7-1 Pronóstico del nivel de servicio, NS, a 5, 10 y 15 años	94
Tabla 7-2 Modelación de nivel de servicio con 2, 3 y 4 carriles adicionales	98

Índice de figuras

Figura 1 Panorámica de la vía objeto del estudio.....	10
Figura 1-1 Viajes y toneladas movilizadas en Colombia durante el año 2021	14
Figura 4-1 Ilustración de los niveles de servicio en autopistas	20
Figura 5-1 Localización doble calzada Buga-La Paila-La Victoria	24
Figura 6-1 Distribución de frecuencia de uso de la vía.....	53
Figura 6-2 Ejemplo de cálculo del nivel de servicio, NS, sector No.1 INVIAS 2022.....	59
Figura 6-3 Ejemplo de cálculo de nivel de servicio, NS, sector No.1 HCM2016	77

Introducción

Colombia se caracteriza por contar con un importante número de centros urbanos y productivos en la parte central del territorio. Por esta razón, y a pesar de contar con el privilegio de tener un doble acceso marítimo, la infraestructura de transporte (especialmente la infraestructura vial) debería poder garantizar una rápida y eficiente movilización de los grandes volúmenes de carga desde los centros urbanos hacia los centros de consumo que lo requieran (Pérez, 2005).

En razón de lo anterior, la vía Buga-La Victoria que se localiza en el centro del departamento del Valle del Cauca fue ampliada a Doble Calzada entre los años 1993 y 2011 con el objetivo de mejorar la movilización de carga en los corredores estratégicos para la economía del país Bogotá-Buenaventura y Medellín-Buenaventura, buscando aportar al crecimiento de la región vallecaucana que se caracteriza por el desarrollo industrial, principalmente la derivada del procesamiento de la caña de azúcar, por lo que es habitual el tránsito de vehículos de carga de diferentes tamaños como los trenes cañeros que alcanzan longitudes de 54 m, el tránsito de tractocamiones que entran y salen del puerto de Buenaventura y el tránsito de vehículos públicos y particulares para el transporte de pasajeros que interactúan entre los municipios del norte del departamento con la capital Santiago de Cali; condiciones que generan situaciones especiales en la operación de la vía nacional, las cuales no han sido calificadas en términos del nivel de servicio que ofrece esta vía a los usuarios.

Las características topográficas de la región vallecaucana conformada por grandes extensiones de terreno plano, generan entre los usuarios de sus vías la percepción de estar transitando vías amplias, cómodas, rápidas y seguras, sin embargo, en el presente trabajo de maestría se presentan los datos reales del nivel de servicio y de los indicadores de calidad que este tramo de vía nacional está realmente ofreciendo a sus usuarios y de la cual se presenta una vista panorámica en la figura 1 siguiente:

Figura 1 Panorámica de la vía objeto del estudio



Fuente: (Arias, 2022)

El país cuenta en la actualidad con cerca de 2.000 kilómetros de vía multicarril, y se aspira a que en los próximos años se tengan cerca de 4.000 kilómetros para conectar los principales centros de producción y consumo con los puertos marítimos, identificando estas vías multicarril como corredores de comercio exterior. (INVIAS, 2022)

En el presente trabajo final de maestría se expone el resultado de aplicar el manual para determinar la capacidad y nivel de servicio para vías multicarril del Invias 2022 y muestra las condiciones de operación que ofrece la doble calzada Buga-La Paila-La Victoria, adicionalmente, se compararon los resultados con los obtenidos por la metodología del Highway Capacity Manual 2016 del Transportation Research Board de los Estados Unidos, con lo que se definieron observaciones que dan lugar a discusiones técnicas sobre la pertinencia de la aplicación en las vías multicarril de Colombia del manual publicado mediante la resolución número 20223040024795 del 6 de mayo de 2022, del cual posiblemente son escasos los registros de su aplicación.

1. Descripción del problema

Los problemas asociados al transporte son actualmente más globales y serios que nunca, tanto en los países industrializados como en los que están en proceso de desarrollo. La escasez de combustibles líquidos puede no ser un problema serio en la actualidad, como lo son la congestión, el elevado consumo del tiempo, la accidentalidad y los consecuentes problemas medioambientales y de calentamiento global, más críticos hoy que nunca (Ortúzar & Willumsen, 2008).

En línea con lo anterior, la identificación de situaciones que dinamizan la operación vehicular en la doble calzada Buga-Tuluá-La Paila conllevan a establecer una relación directa, con los incrementos del tráfico diario como producto del aumento de la motorización en la población, las operaciones de origen y destino de cargas en la industria de la región, las operaciones habituales en el puerto de Buenaventura, las deficiencias en el servicio de transporte público de pasajeros que conllevan al uso excesivo del transporte particular, lo que genera momentos de congestión en algunos sectores de la vía especialmente en las denominadas horas pico.

Según (Thomson & Bull, 2001) la causa fundamental de la congestión es la fricción entre los vehículos en el flujo de tránsito. Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de las intersecciones, etc. Sin embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás, es decir, comienza el fenómeno de la congestión. En consecuencia, la situación problema en algunos tramos de las vías multicarril de Colombia, se fundamenta en la presencia de momentos de congestión y la relación directa de esta con el nivel de servicio, escenario que corresponde a la manera como las vías nacionales a través de los años, han migrado pasando de ser un camino de herradura hasta convertirse en vías multicarril, lo que justifica la necesidad de realizar estudios que permitan determinar la capacidad y el nivel de servicio que ofrecen con el fin de identificar alternativas de mejora.

1.1 Antecedentes del proyecto vial

Alvear Sanín, 2008, resume con acierto que, el sistema colombiano de concesiones viales fue elaborado por el Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías, en asocio con el Departamento Nacional de Planeación, dentro del marco legal definido por la ley 80 de 1993 (estatuto de contratación administrativa), la ley 105 de 1993 (ley de transporte) y la ley 336 de 1996, siguiendo el esquema BOMT (Build-Operate-Maintain-Transfer), para obtener vinculación de capital privado con el fin de modernizar la red vial (Alvear Sanín, 2008).

En consecuencia, el tramo objeto de estudio se convirtió en carretera multicarril mediante un contrato de concesión de los denominados de primera generación otorgado en 1993, proyecto que consistió básicamente en la construcción de una segunda calzada paralela a la antigua vía nacional existente sobre la cual los datos de construcción se acercan a la década entre 1940 y 1950, y su pavimentación entre los años 1970 y 1974. Claramente la construcción de dicha primera calzada en su mayoría fue empírica y fue resultado, en gran parte, de la ampliación de caminos de herradura, lo que refleja una deficiencia en cuanto al cumplimiento de los criterios de diseño geométrico y planeación de la capacidad vial.

Con la adjudicación de la concesión vial para convertir la antigua vía nacional en una vía multicarril, se establecieron obligaciones de mejora y actualización para alcanzar condiciones geométricas y de dimensionamiento de la sección transversal de las calzadas para llevarlas a cumplir con las medidas mínimas establecidas por la Ley 105 de 1993, del Ministerio de Transporte, cuya implementación incluye especificaciones tendientes a alcanzar unas dimensiones mínimas de ancho de carril y ancho de bermas que pretendían ofrecer una mayor capacidad vial, sin que para la época se hubiera publicado algún manual para establecer la capacidad y el nivel de servicio, ni para determinar indicadores de calidad en la operación de una vía pública en Colombia.

Pasadas tres décadas de desarrollo de las vías multicarril en Colombia, el INVIAS como organismo adscrito al Ministerio de Transporte y encargado de la ejecución de las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos para la red vial nacional y, como responsable de definir la regulación técnica relacionada con la infraestructura de los

modos de transporte carretero, publicó en el año 2022 el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio Para Vías Multicarril, del cual, hasta la fecha existe un escaso registro de aplicación de carácter investigativo y académico o de implementación en alguna vía de la red multicarril que en el país se encuentra en su mayoría concesionada.

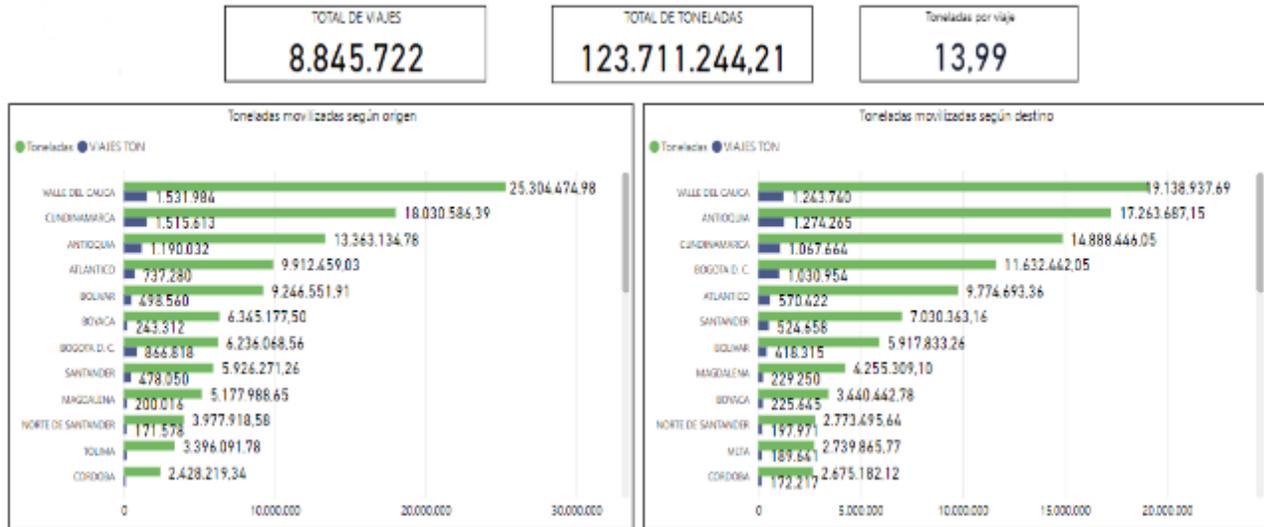
1.2 Estado del tramo vial

Debido a la configuración geográfica de Colombia su sistema de carreteras se ha consolidado parcialmente a través de las vías troncales que recorren el país en el eje norte-sur. En el sentido este-oeste, la red vial no ofrece una adecuada articulación y complementación con la red troncal. Adicionalmente, las condiciones de estado, capacidad y nivel de servicio que ofrecen las vías no son uniformes a lo largo de los corredores. En un mismo corredor se puede pasar de tramos o sectores viales con adecuados niveles de servicio a sectores con bajos niveles de servicio, tanto en infraestructura como en operación (Ministerio de Transporte, 2011).

En consecuencia, el corredor vial de la doble calzada Buga-La Paila-La Victoria siendo parte de dos de los corredores estratégicos para la economía del país, Bogotá-Buenaventura y Medellín-Buenaventura, presenta en la actualidad condiciones operativas alteradas por la dinámica propia del desarrollo de los siete municipios del Departamento del Valle del Cauca por los que cruza, con la condición adicional de tener un alto volumen de tránsito que presentó un crecimiento del 85% entre los años 2007 y 2017 pasando de tener un tráfico promedio diario (TPD) de 8.400 a 15.400 (INVIAS, 2017), lo que presupone la posibilidad de estar ofreciendo un bajo nivel de servicio a los usuarios, con la posibilidad de encontrar sectores con congestiones vehiculares, con aumento de tiempos de viaje, aumento de los costos de transporte, una percepción de incomodidad en los usuarios y la generación de sitios de concentración de accidentes.

El Ministerio de Transporte en el informe de estadística de carga movilizada por carretera para el año 2021 reporta al departamento del Valle del Cauca como el mayor generador de carga movilizada tanto en origen como en destino como se presenta en la figura 1-1 a continuación:

Figura 1-1 Viajes y toneladas movilizadas en Colombia durante el año 2021



Fuente: (Ministerio de Transporte, 2022)

Los datos anteriores permiten evidenciar que el departamento del Valle del Cauca donde se ubica el puerto de Buenaventura y el tramo vial objeto de estudio, tuvo una participación del 36 % de la carga movilizada y un 31 % del número de viajes de transporte de carga que se realizaron en el país durante el año 2021, lo que justifica la importancia de determinar la capacidad y el nivel de servicio actual del corredor vial para verificar si se están cumpliendo los propósitos del Estado para ofrecer vías modernas, cómodas y seguras que aporten a la eficiencia del transporte de carga y que conlleven a alcanzar las metas macroeconómicas del país relacionadas con el crecimiento del producto interno bruto, el fomento de la producción y la estabilización de precios al consumidor.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Determinar la capacidad y el nivel de servicio de cada uno de los sectores de la doble calzada Buga-La Paila-La Victoria bajo los criterios planteados en el manual del INVIAS 2022 para vías multicarril.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar la sectorización de la vía objeto de estudio, mediante el análisis de las características geométricas y operativas.
- Determinar la capacidad y nivel de servicio de cada sector mediante las metodologías para vía multicarril del Invias 2022 y la metodología del Highway Capacity Manual 2016 del Transportation Research Board TRB de los Estados Unidos.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos al aplicar ambas metodologías.
- Definir posibles alternativas de solución para mejorar el nivel de servicio en los sectores que lo ameriten.

3. Alcance y condiciones del estudio

En este trabajo se presenta el nivel de servicio de la doble calzada Buga-La Paila-La Victoria determinado mediante la metodología publicada por el Instituto Nacional de Vías de Colombia en adelante INVIAS, en el año 2022, con resultados y recomendaciones que podrán servir para que la entidad encargada de la operación vial pueda establecer acciones de control operativo, así como para definir y proponer al Estado colombiano como concedente, las alternativas de intervención en la infraestructura para garantizar una mayor capacidad de la vía y un alto nivel de servicio a los usuarios.

Adicionalmente se realizó un análisis comparativo frente al resultado obtenido a partir de la metodología para el cálculo de la capacidad y nivel de servicio de vías multicarril del Manual de Capacidad y Niveles de Servicio de Estados Unidos de América, denominado por sus siglas en inglés HCM, documento de referencia adoptado por el grupo consultor del INVIAS para el desarrollo del manual vigente en Colombia desde el año 2022.

Las condiciones relevantes para la realización del estudio consideraron una primera etapa de recopilación de información técnica relacionada con la geometría de la vía y datos técnicos de la operación de la misma, teniendo como fuente principal a la empresa concesionaria a cargo del tramo; la segunda etapa consistió en el trabajo de campo para la toma de información técnica de detalles operativos (inspecciones, conteos vehiculares, toma de velocidades) de acuerdo con los pasos establecidos en las metodologías de estudio; la tercera etapa incluye el procesamiento de la información para la emisión del informe final.

Las mayores limitaciones que se encontraron en el desarrollo del estudio estuvieron relacionadas con la dificultad para obtener información de diseño de la vía por la antigüedad de los archivos, igualmente para realizar el trabajo de campo por la longitud de los desplazamientos y los costos de los viajes de inspección para para tomar información de las características de cada sector de la vía.

4. Marco teórico

4.1 Generalidades

Una corriente de tránsito, dentro de un sistema vial, funciona aceptablemente bien cuando la magnitud del flujo, circulando a una velocidad razonable, es menor que la capacidad del sistema; en otras palabras, cuando el sistema tiene la suficiente capacidad (oferta) para alojar el flujo vehicular presente (demanda), sin demoras excesivas para los usuarios (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

En relación con lo anterior, para establecer esa relación de funcionamiento entre la capacidad del sistema y la demanda vehicular, se debe dar alcance a algunas definiciones relacionadas con las características técnicas, geométricas y las condiciones operativas (volúmenes de tránsito, las velocidades de operación) y otros factores influyentes relacionados con el entorno del sistema vial objeto de estudio.

4.2 Carretera multicarril

Una carretera o vía multicarril es aquella que tiene dos o más carriles por sentido de circulación y su operación se da bajo régimen de tránsito ininterrumpido, que presupone separación entre intersecciones superior a 2.5 kilómetros. Puede tener separador central, en cuyo caso se denomina dividida, o carecer de él, llamándose entonces no dividida (INVIAS, 2022).

4.3 Capacidad vial

La capacidad se define como el flujo máximo sostenible por hora con el que se puede esperar que las personas o los vehículos razonablemente atraviesen un punto o una sección uniforme de un carril o una carretera durante un periodo de tiempo determinado en virtud de condiciones imperantes de la calzada, el entorno, el tráfico y las condiciones de control (Transportation Research Board, 2016).

4.4 Nivel de servicio

El nivel de servicio es una estratificación cuantitativa de una o varias medidas de rendimiento que representan la calidad del servicio. Las medidas utilizadas para determinar el nivel de servicio de los elementos del sistema de transporte se denominan medidas de servicio. El Manual de Capacidad y Niveles de Servicio de Estados Unidos de América (HCM), define seis niveles de servicio, que van de la A a la F, para cada medida de servicio, o para el resultado de un modelo matemático basado en múltiples medidas de rendimiento. El Nivel de Servicio 'A' representa las mejores condiciones de funcionamiento desde la perspectiva del viajero y el Nivel de Servicio 'F' las peores. Por razones de costo, impacto ambiental y otras, las carreteras no suelen estar diseñadas para ofrecer condiciones de nivel de servicio 'A' durante los periodos de hora punta, sino que refleja un equilibrio entre los deseos de los viajeros y los deseos de la sociedad, y los recursos financieros. Sin embargo, durante los periodos de bajo volumen del día, un elemento del sistema puede funcionar en nivel de servicio 'A'. (Transportation Research Board, 2016).

De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc. (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

Para las carreteras multicarril se ha establecido como variable de efectividad la densidad en veh/km/carril. Se trata de medir el grado de fricción y/o interacción entre vehículos. Además, al aumentar la densidad los cambios de carril disminuyen, así como las velocidades de operación (INVIAS, 2022).

Para establecer las densidades límite entre los diferentes Niveles de Servicio, en el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para vías multicarril de Colombia, se tuvieron en cuenta dos principios:

1. Establecer una escala de Niveles de Servicio uniforme para los diferentes tipos de vía multicarril.

2. Establecer la relación Volumen/Capacidad que define cada Nivel de Servicio a través de la densidad máxima y procurar que ella se mantenga en un rango predeterminado.

Las opciones de nivel de servicio posibles, consideradas en el manual de Capacidad y Nivel de Servicio para Vías multicarril del INVIAS se describen a continuación:

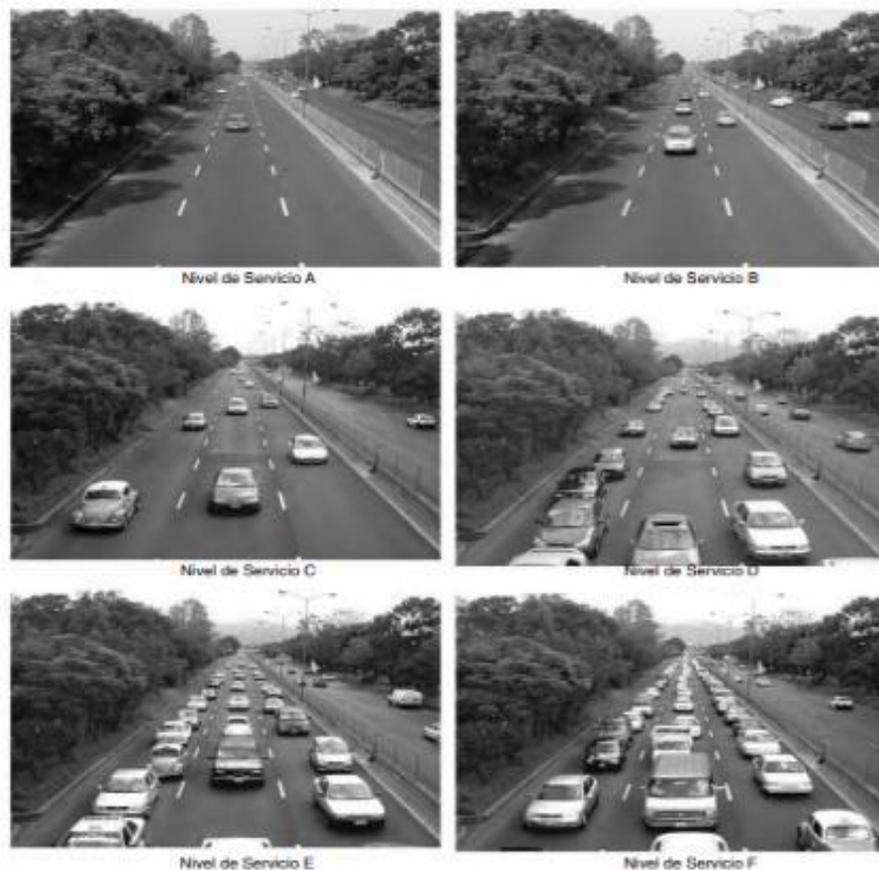
- **Nivel de Servicio 'A'**: Describe unas condiciones de completa libertad (ver figura 4-1-A). La circulación de los vehículos queda virtualmente libre de los efectos de la presencia de otros vehículos, y las operaciones únicamente quedan restringidas por la geometría de la carretera y por las preferencias del conductor.
- **Nivel de Servicio 'B'**: Es también indicativo de flujo libre, aunque empieza a ser perceptible la presencia de otros vehículos (ver figura 4-1-B). Las velocidades medias de recorrido son las mismas que en el Nivel de Servicio 'A', pero los conductores tienen una libertad de maniobra ligeramente inferior.
- **Nivel de Servicio 'C'**: Representa un rango en el cual queda marcada la influencia de la densidad del tráfico sobre las operaciones (ver figura 4-1-C). Ahora la presencia de otros vehículos claramente afecta la maniobrabilidad de la corriente circulatoria. Las velocidades medias de recorrido comienzan a mostrar alguna reducción en aquellas carreteras multicarril con velocidades libres por encima de 80 km/h.
- **Nivel de Servicio 'D'**: Representa un rango en el cual la capacidad de maniobra se ve seriamente restringida debido a la congestión de la circulación (ver figura 4-1-D). Al incrementarse los volúmenes la velocidad de recorrido comienza a reducirse.
- **Nivel de Servicio 'E'**: Representa una explotación en, o cerca de, la capacidad, y es bastante inestable. Las densidades varían en función de la velocidad libre (ver figura 4-1-E). Los vehículos ruedan con el mínimo espaciamiento para el que se puede mantener un flujo uniforme. Al aproximarse al límite inferior del Nivel de Servicio no pueden absorberse o disiparse rápidamente la mayoría de las alteraciones, y estas ocasionan la formación de colas y la caída al Nivel de

Servicio 'F'. En la mayoría de las carreteras multicarril, con velocidades libres entre 70 y 100 km/h, la velocidad de los vehículos ligeros oscila entre 68 y 88 km/h, pero son muy variables e impredecibles.

- **Nivel de Servicio 'F'**: Representa un flujo forzado o en colapso. Esto se produce bien en un punto al que los vehículos llegan a una tasa mayor que la tasa de descarga o en un punto de una carretera en planeamiento donde la demanda prevista excede la capacidad calculada (ver figura 4-1-E). Aunque la operación en estos puntos (y en los tramos inmediatamente corriente abajo) parecen estar a capacidad, se formarán colas detrás de estos puntos. La circulación en las colas es altamente inestable, presentándose breves períodos de movimiento seguidos por paradas.

Las condiciones de operación de los niveles de servicio para segmentos o sectores básicos de una vía multicarril se ilustran en la figura 4-1:

Figura 4-1 Ilustración de los niveles de servicio en autopistas



Fuente: (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018)

4.4.1 Condiciones prevaletientes

Según Cal y Mayor & Cárdenas, 2018, es necesario tener en cuenta el carácter probabilístico de la capacidad, por lo que puede ser mayor o menor en un instante dado; es decir, existen factores que al variar pueden modificar la capacidad la vía, estos factores relacionan las condiciones de la infraestructura y de operación de una vía, agrupándolas en los cuatro tipos siguientes:

1. Condiciones de la infraestructura vial
2. Condiciones del medio ambiente
3. Condiciones del tránsito
4. Condiciones de los controles

4.4.2 Conceptos sobre las características de la infraestructura

La descripción de las principales características de la infraestructura que se han tenido en cuenta para el desarrollo de este estudio de capacidad y nivel de servicio se describen a continuación:

- **Alineamiento horizontal y vertical:** En el diseño en planta, o alineamiento horizontal, la velocidad de diseño es norma de control para los radios de curvatura, los peraltes y las distancias de visibilidad que determinan la seguridad en el tránsito. Esa velocidad, por razones de consistencia geométrica y de economía en la explotación, debe ser la más uniforme y alta que permitan las condiciones topográficas y el tipo de carretera.

En el diseño en perfil, o alineamiento vertical, la influencia de las pendientes es notable en la restricción de las velocidades que puedan desarrollar los vehículos, particularmente los de mayor peso.

- **Calzada:** Es la zona de la carretera destinada a la circulación normal de los vehículos. Su sección transversal comprende las calzadas de circulación, con dos o más carriles de circulación por sentido, y puede incluir el separador central.
- **Berma:** Es la parte exterior del camino, destinada a la parada eventual de vehículos, al tránsito de peatones, de bicicletas, etc., de manera que estos no

interfieran con la circulación normal de los demás vehículos. También proporciona soporte lateral al pavimento. Los anchos de berma más utilizados en el país, para calzadas unidireccionales son: 1.80 m, 1.50 m y 1.20 m, para bermas externas o derechas, y 0.50 m y 1.00 m para bermas internas o izquierdas.

- **Obstáculos laterales:** Se consideran como obstáculo lateral los muros, árboles, postes, señales, etc., los cuales deberían situarse a una distancia superior a 1.80 m del borde de la calzada, para disminuir el riesgo de choques contra ellos y para que no constituyan una obstrucción psicológica a la circulación normal de los vehículos, lo que puede reducir el Nivel de Servicio y la Capacidad de la vía. Se deben examinar, en cada sentido de circulación, las zonas libres a la derecha y a la izquierda.

De acuerdo con los conceptos anteriores, se presentan condiciones de la infraestructura que toman una relevancia importante para la aplicación del método de estudio del Manual de Capacidad y Niveles de Servicio de Vías Multicarril de Colombia, así:

- El tipo de terreno entre plano, ondulado o montañoso.
- La pendiente longitudinal.
- El ancho de carril.
- El tipo y ancho del separador central.
- El ancho promedio de las bermas.
- El ancho de los despejes laterales.
- La densidad de accesos laterales directos en cada sector.
- La velocidad de operación de la vía.
- La tortuosidad y geometría de la vía (alineamientos vertical y horizontal).

4.4.3 Condiciones del medio ambiente

Tiene relación con las condiciones climáticas, la iluminación y visibilidad, la arborización y el uso del suelo en la zona del derecho de vía.

4.4.4 Condiciones del tránsito

Las condiciones del tránsito, que impactan en la capacidad y el Nivel de Servicio de una vía, están relacionadas con el tipo de vehículo y las distribuciones de estos en los carriles existentes; estos vehículos se dividen en tres categorías (camiones, vehículos recreativos y autobuses), también influye en las condiciones del tránsito la presencia de conductores habituales sobre la vía. El análisis de la distribución del tráfico entre carriles y entre calzadas, en estructuras multicarril, se hace de forma independiente para cada sentido de circulación.

4.4.5 Condiciones de los controles

Se refiere específicamente a los dispositivos de regulación del tránsito instalados en la vía, tales como la señalización vial vertical y horizontal, reductores de velocidad y controles de velocidad máxima en la vía.

5. Metodología

Para la realización del estudio para determinar la capacidad y nivel de servicio de la doble calzada Buga-Tuluá-La Paila-La Victoria con base en el Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril del Invias 2022 y del Manual de Capacidad y Niveles de Servicio de Estados Unidos de América (HCM), se estableció un procedimiento que contempló los siguientes pasos:

Paso 1: sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de la información necesaria para usar el manual.

Paso 2: asignar una velocidad a flujo libre a cada sector de análisis.

Paso 3: para cada sector, fijar el número de carriles, ancho de carril en m, ancho promedio de berma en m, densidad de accesos en puntos/km, ancho de separador en m.

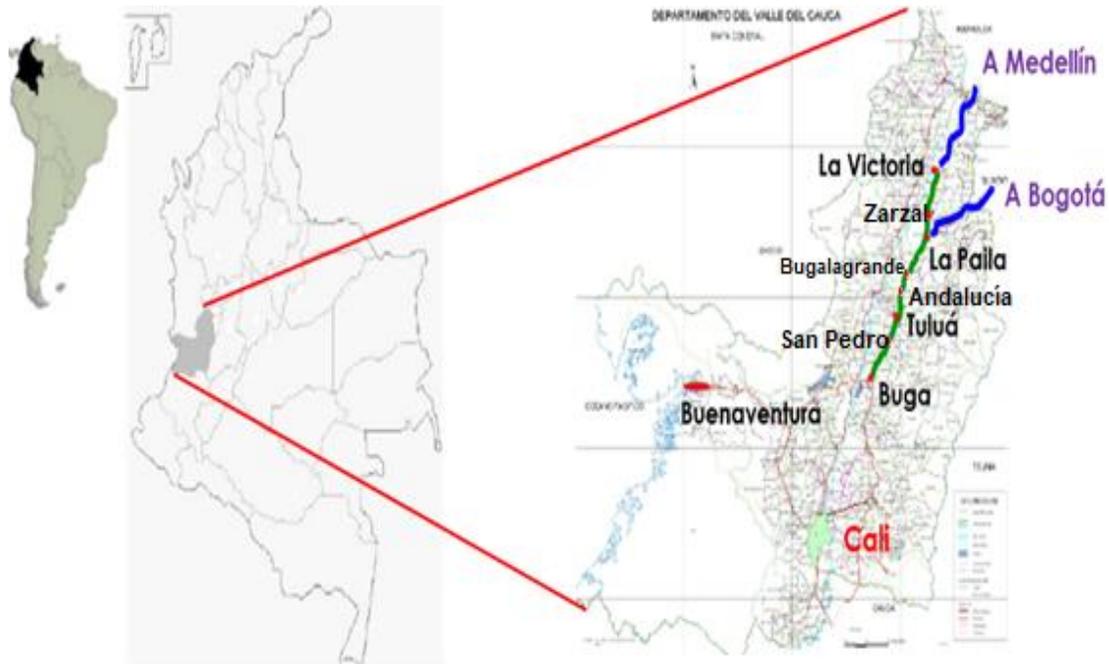
Paso 4: determinación el flujo vehicular en la hora pico en ade/h/carril en cada sector de análisis.

Paso 5: cálculo de la capacidad, densidad y el correspondiente nivel de servicio de cada sector.

5.1 Paso 1 – Proceso de sectorización

Dentro del proceso de sectorización es importante presentar la localización en la figura 5.1, de la carretera Buga–La Paila–La Victoria que se localiza en el centro del departamento del Valle del Cauca pasando por la periferia de siete municipios (Guadalajara de Buga, San Pedro, Tuluá, Andalucía, Bugalagrande, Zarzal, La Victoria) a continuación:

Figura 5-1 Localización doble calzada Buga-La Paila-La Victoria



Fuente: Adaptación propia.

El proyecto vial cuenta con una longitud de 80 kilómetros y hace parte integral de la Ruta Nacional 25 denominada como la Troncal de Occidente, que inicia en el Puente Internacional Rumichaca (frontera con Ecuador) en el departamento de Nariño y finaliza en la ciudad de Barranquilla en el departamento del Atlántico.

Cada uno de los tramos que componen la vía objeto del estudio se dividió en varios sectores de geometría homogénea, cada uno con la mayor longitud posible sin sobre pasar los 6.0 km, identificados por sus postes de referencia (PR) de inicio y fin,

teniendo en cuenta, sobre todo, factores de tipo geométrico, para lo que se debe hacer un trabajo de consulta previo en oficina, para estudiar los planos del diseño en planta de la carretera y los resultados del estudio para diseño de velocidad de la misma; igualmente, se hicieron recorridos de inspección en la vía para tomar datos que permitieron establecer su regularidad en los siguientes aspectos:

- Patrón de velocidad de los camiones, determinado mediante el análisis de registros de velocidad real tomados con radar en la vía.
- Tortuosidad de la vía, establecida a partir del análisis de los planos de diseño geométrico.
- Magnitud de la pendiente de las tangentes verticales, identificadas a partir del análisis de las pendientes en los planos de diseño geométrico de la vía.
- Ancho de carril, establecidos mediante la información de diseño geométrico de la vía y verificaciones en inspecciones de campo,
- Existencia o no de separador, establecidos mediante la información de diseño geométrico de la vía y verificaciones en inspecciones de campo.
- Distancias libres laterales, definidas mediante la información de diseño geométrico de la vía y mediciones en inspecciones de campo.
- Tránsito, calculado a partir de los conteos vehiculares registrados en los peajes de la vía y en las estaciones de aforo del INVIAS.

5.1.1 Tramos genéricos

La aplicación del concepto de tramo genérico se aplicó cuando el sector presenta rampas combinadas de ascenso y descenso; en donde los vehículos incrementan su energía potencial en los descensos y la aprovechan para emprender el ascenso; para este caso de tramos genéricos se consideraron los siguientes tipos:

- **Tipo 1. Plano:** es un sector en el que los camiones, tanto en un sentido como en el otro, pueden viajar a velocidades similares a las de los automóviles. Su alineamiento en perfil lo constituyen tangentes verticales con pendientes combinadas o sostenidas menores o iguales a 3.0 %.

- **Tipo 2. Ondulado:** es un sector con tangentes verticales cortas alternadas de ascenso y descenso en el que los camiones, tanto en un sentido como en el otro, pueden viajar a velocidades mayores que su velocidad de régimen, ya que ganan velocidad en las tangentes descendentes y la pierden parcialmente en las ascendentes.

El alineamiento en perfil presenta las siguientes características:

- Sucesión de tangentes verticales alternando el signo (+/- o -/+).
- Tangentes verticales con longitud menor o igual a 500 metros.
- Pendiente media (Pm) entre el 3 % y el 5 %. Este parámetro representa el promedio ponderado con respecto a la longitud de cada tangente vertical del sector, en valor absoluto.
- **Tipo 3. Montañoso:** es un sector con tangentes verticales cortas alternadas de ascenso y descenso en el que los camiones, tanto en un sentido como en el otro, pueden viajar a velocidades mayores que su velocidad de régimen, ya que ganan velocidad en las tangentes descendentes y la pierden parcialmente en las ascendentes.

Su alineamiento en perfil presenta las siguientes características:

- Sucesión de tangentes verticales alternando el signo (+/- ó -/+).
- Tangentes verticales con longitud menor o igual a 500 metros.
- Pendiente media (Pm) mayor al 5 %. Este parámetro representa el promedio ponderado con respecto a la longitud de cada tangente vertical del sector, en valor absoluto.

5.1.2 Rampas de ascenso y descenso

La aplicación de rampa de ascenso o de descenso se presenta cuando el alineamiento vertical incluye tangentes verticales con pendientes sostenidas y con longitudes superiores a 500 metros.

5.1.3 Variables relacionadas con la geometría

Para realizar los ajustes a la velocidad a flujo libre característica del sector en estudio, y para cada sentido de circulación, se determinó en el análisis de sectorización los siguientes aspectos:

- **Ancho de carril:** medido en diferentes secciones del sector, verificando la homogeneidad de la dimensión.
- **Tipo y ancho del separador:** se determinó la existencia o no del separador en la carretera y su ancho. Las características del separador deben ser homogéneas a lo largo del sector de análisis.
- **Ancho de bermas:** se midió el ancho de las bermas verificando su homogeneidad.
- **Densidad de accesos:** se realizó el conteo del número de acceso del lado derecho de la vía incluyendo únicamente accesos con movimientos importantes. Con esta información se calcula la densidad como la relación entre el total de puntos de acceso y la longitud del sector de análisis, en kilómetros.

5.1.4 Variables relacionadas con el tránsito

Las mediciones de tráfico se llevaron a cabo para determinar la magnitud de los movimientos existentes y los tipos de vehículos motorizados que circulan en cada área de estudio. Esta información permitió identificar los períodos críticos a lo largo de un día, semana o temporada, determinando la influencia relativa de cada tipo de vehículo y movimiento en el funcionamiento del área de estudio (Fernandez Aguilera, 2014)

En relación con lo anterior, el Manual de capacidad y niveles de servicio del INVIAS considera dos variables para la realización del estudio:

5.1.4.1 *Volumen de tránsito mixto y factor de hora pico (FHP)*

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que se conserve la misma frecuencia del flujo durante toda la hora. Esto quiere decir que existen periodos cortos dentro de la hora con tasa de flujo mucho mayores a las de la hora misma. Para la hora de máxima demanda,

se llama *factor de la hora de máxima demanda* **FHMD**, a la relación entre el *volumen horario de máxima demanda* **VHMD**, y el volumen máximo $Q_{t\text{máx}}$, que se presente durante un periodo dado dentro de dicha hora. (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018)

De acuerdo con lo anterior, y teniendo en cuenta que se tiene alcance la información detallada de los aforos vehiculares de la vía concesionada, se realizará el cálculo del factor de hora pico, FHP, mediante la aplicación de la siguiente expresión:

$$FHMD = \frac{VHMD}{4(q_{max15})} \quad (1)$$

Donde:

FHMD: Factor hora de máxima demanda, o factor hora pico

VHMD: Volumen horario de máxima demanda

Q_{max15} : Flujo máximo durante 15 minutos

5.1.4.2 Información relacionada con los camiones

Para determinar la equivalencia de camiones se hará uso de las tablas No.18 y No.19 del Manual de capacidad y niveles de servicio del INVIAS, para lo cual se requiere la establecer previamente la siguiente información de cada sector de la vía a analizar:

- Pendiente y longitud de la pendiente en el sector de análisis.
- Porcentaje de camiones.

Para tener en cuenta el mayor efecto que ejercen los vehículos pesados se utilizan las equivalencias en automóviles, que expresan el número de automóviles que causarían el mismo efecto que un vehículo pesado sobre cierta característica del tránsito (INVIAS, 2022).

5.2 Paso 2 - Determinación de la velocidad a flujo libre

La relación que existe entre la velocidad de circulación y el flujo en un arco es una formulación fundamental de la Ingeniería de Tráfico. El concepto fue desarrollado inicialmente para tramos largos de autopistas, de túneles o de calles sin interrupciones. La relación flujo-velocidad se presenta usualmente como, a medida que el flujo crece, la

velocidad tiende a decrecer, con un tramo inicial en el que las variaciones son pequeñas; cuando el flujo alcanza valores próximos a la capacidad del arco, la tasa de reducción de la velocidad se incrementa (Ortúzar & Willumsen, 2008).

5.2.1 Determinación de la velocidad a flujo libre, FL

Para el desarrollo del segundo paso del estudio, se inicia con la determinación de la velocidad a flujo libre del sector de análisis, para lo cual se consideran las siguientes opciones:

5.2.1.1 *Medición en campo de la velocidad a flujo libre: se trata de la realización de pruebas de radar para determinar la velocidad a flujo libre del sector de análisis, esta opción es la más recomendada cuando se trata de superficies de pavimento en malas condiciones, resaltando que, para obtener resultados objetivos se deben usar equipos de radar debidamente certificados y calibrados.*

5.2.1.2 *Estimación de la velocidad a flujo libre: de acuerdo con lo establecido en el Manual de capacidad y nivel de servicio para vías multicarril del Invias, la velocidad a flujo libre también puede estimarse analíticamente utilizando la siguiente ecuación:*

$$VL = VG - f_C - f_S - f_B - f_A \quad (2)$$

Donde:

VL = velocidad a flujo libre del sector.

VG = velocidad genérica del sector.

f_C = corrección por ancho de carril.

f_S = corrección por ancho de separador.

f_B = corrección por promedio de ancho de bermas.

f_A = corrección por densidad de accesos.

Una vez obtenida la velocidad a flujo libre (VL) se procede a estimar la velocidad genérica del sector, la cual se denominará (VG).

5.2.2 Estimación de la velocidad genérica, VG

Es la velocidad característica de la carretera teniendo en cuenta el trazado horizontal y vertical bajo un criterio de consistencia geométrica.

Los elementos de la sección transversal y el entorno de la vía se consideran en un siguiente paso de la metodología, aplicando correcciones a la velocidad genérica para obtener la velocidad a flujo libre para las condiciones imperantes en la carretera en estudio.

En función de las características geométricas del sector de estudio, el Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril del Invias, define una clasificación de las carreteras multicarril en tres tipos A1, B1 y C1, según lo indicado en la tabla 5-1:

Tabla 5-1 Clasificación de las vías multicarril según sus características geométricas

Clasificación	Características geométricas
Tipo A1	Velocidad de diseño: 100 a 120 km/h Radio mínimo: 400 m Pendiente máxima: 5 % Ancho de calzada: 7.30 m Ancho de berma izquierda: 1.00 m Ancho de berma derecha: 2.50 m
Tipo A2	Velocidad de diseño: 80 a 100 km/h Radio mínimo: 230 m Pendiente máxima: 6 % Ancho de calzada: 7.30 m Ancho de berma izquierda: 0.50 m Ancho de berma derecha: 1.80 m
Tipo A3	Velocidad de diseño: 60 a 80 km/h Radio mínimo: 70 m Pendiente máxima: 8 % Ancho de calzada: 7.00 m Ancho de berma izquierda: 0.50 m Ancho de berma derecha: 1.50 m

Fuente: (INVIAS, 2022)

Después de determinar el tipo de vía según la clasificación de la tabla 5-1 y de acuerdo con las características geométricas, se procede a incorporar al análisis de la

velocidad genérica VG, la información recolectada en las inspecciones oculares de la vía, aspectos técnicos como:

- La zona libre lateral
- El control de accesos
- La presencia de peatones.

Una vez definida la información anterior y, para determinar la velocidad genérica del sector de análisis, el Manual INVIAS 2022, ha establecido las posibles velocidades de acuerdo con el tipo de carretera como se presenta en la tabla 5-2:

Tabla 5-2 Velocidad genérica por tipo de carretera

Tipo de carretera	Velocidad genérica (Km/h)	
	Con separador	Sin separador
Multicarril, con características geométricas de vía tipo A1, zona despejada de 9 m o con elementos de contención vehicular,	120	No aplica
Multicarril, con características geométricas de vía tipo B1, control parcial de accesos, sin concentración de peatones.	100	90
Multicarril, con características geométricas de vía tipo B1, sin control de accesos, sin concentración de peatones.	90	80
Multicarril, con características geométricas de vía tipo C1, sin control de accesos, sin peatones frecuentes.	80	70
Multicarril, con características geométricas de vía tipo C1, sin control de accesos, con peatones frecuentes.	70	80

Fuente: (INVIAS, 2022).

De acuerdo con lo anterior, se obtuvieron las velocidades genéricas VG de cada uno de los sectores y estas se ajustaron según sus características geometrías aplicando los factores de corrección establecidos en el manual INVIAS 2022, como se relaciona a continuación:

5.2.2.1 Valores de ajuste de la velocidad genérica por ancho de carril (f_c)

Los valores de ajuste de la velocidad genérica, VG, en función del ancho del carril se relacionan en la tabla 5-3:

Tabla 5-3 Valores de ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho de carril

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

Fuente: (INVIAS, 2022).

5.2.2.2 Valores de ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador de las calzadas (f_s)

Los valores de ajuste por ancho del separador se ilustran en la tabla 5-4:

Tabla 5-4 Valores de ajuste de la velocidad genérica por ancho del separador

Ancho de separador (m)	Corrección a la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (km/h)
0.0	2.80
0.5	1.6
1.0	1.3
1.5	0.90
2.0	0.70
>3.0	0.00

Fuente: (INVIAS, 2022)

5.2.2.3 Valores de ajuste de la velocidad genérica por ancho de bermas (f_B)

Los valores de ajuste en función del ancho del separador se relacionan en la tabla 5-5:

Tabla 5-5 Valores de ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho de bermas

Ancho de promedio	Corrección a la velocidad genérica por
0.0	7.9
0.5	2.5
1.0 – 1.5	1.7
1.8	0.8
≥ 2.0	0.0

Fuente: (INVIAS, 2022)

5.2.2.4 Valores de ajuste de la velocidad genérica por densidad de accesos (f_A)

Los valores de ajuste por efecto de la densidad de accesos se relacionan en la tabla 5-6:

Tabla 5-6 Valores de ajuste de la velocidad genérica por densidad de accesos

Densidad de	Corrección a la velocidad
5	3.0
10	6.4
15	11.0
20	17.4

Fuente: (INVIAS, 2022).

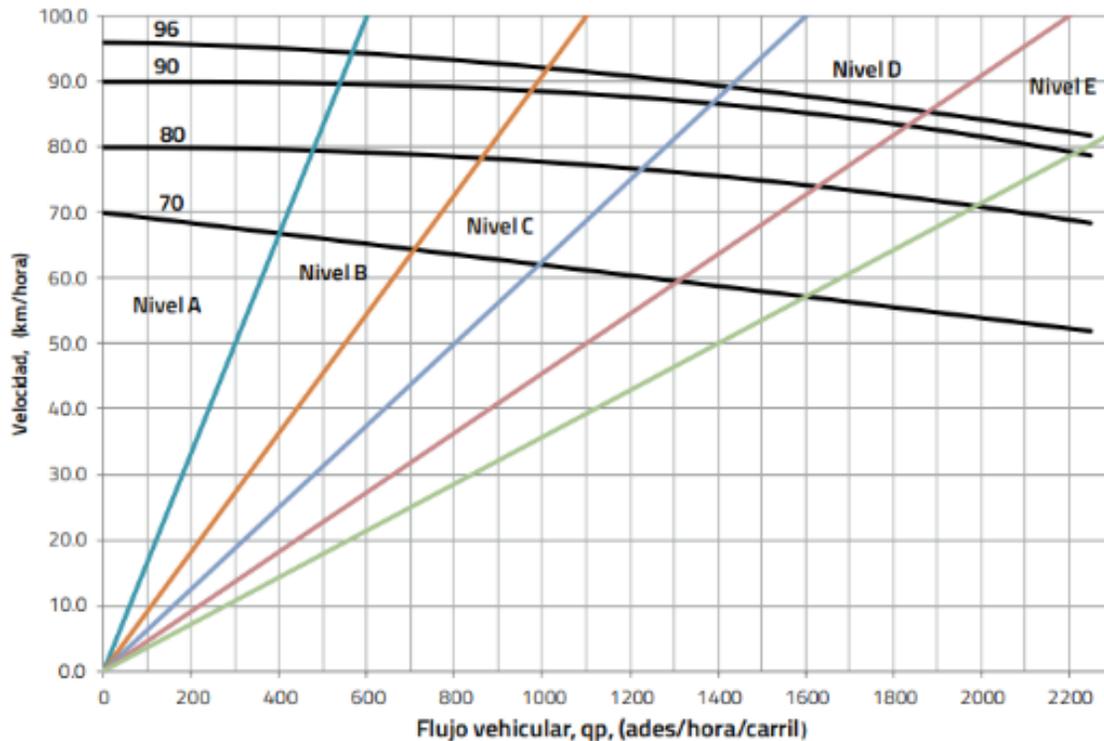
5.2.3 Elección de la curva maestra (flujo-velocidad) de referencia

La fundamentación teórica de la capacidad y el Nivel de Servicio se centra en la teoría del flujo vehicular y en la elaboración de las curvas flujo-densidad-velocidad en las que se han centrado las investigaciones de los últimos cincuenta años. El punto de partida del presente manual lo constituye la obtención de las curvas flujo-velocidad para las carreteras multicarril del país (INVIAS, 2022).

Teniendo en cuenta el tipo de vía y su velocidad a flujo libre, VL, calculada, también se presenta la alternativa de seleccionar la velocidad a flujo libre que corresponda a la curva típica más cercana. Si estos cálculos arrojan valores mayores a 96 km/h se deberá escoger una velocidad a flujo libre de 96 km/h. Si el caso es de velocidades libres menores a 70 km/h se deberá seleccionar la velocidad a flujo libre de 70 km/h. La curva maestra de análisis se seleccionará aproximando el valor de la velocidad a flujo libre característica al valor más cercano múltiplo de 10 (INVIAS, 2022)

En relación con lo anterior para la elección de la curva maestra (flujo-velocidad), la velocidad genérica de cada sector se debe ajustar para aproximarla a la velocidad a flujo libre de una de las cuatro curvas maestras típicas propuestas por el INVIAS de acuerdo con la figura 5.2 que se presenta a continuación:

Figura 5-1 Curvas flujo-velocidad maestras para Colombia



Fuente: (INVIAS, 2022)

5.3 Paso 3 - Cálculo del flujo vehicular

El siguiente paso conduce a corregir el volumen de tránsito mixto y tener en cuenta el equivalente de camiones.

El volumen de tránsito, en vehículos mixtos veh/h/sentido, se debe convertir en flujo vehicular. Este cálculo se realiza utilizando la ecuación indicada por el Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril que se presenta a continuación:

$$q_p = v_p = \frac{V}{FHP * N * f_{HV} * f_p} \quad (3)$$

Donde:

v_p : flujo de tránsito, en veh/h/carril

V : volumen de tránsito mixto, en veh/h/sentido

FHP: factor de hora pico

N : número de carriles

f_{HV} : factor de corrección por camiones

f_p : factor por conocimiento de la vía:

$f_p = 1.00$ (conductores frecuentes); $f_p = 0.90$ (conductores ocasionales)

5.3.1 Equivalente de camiones

El efecto de los vehículos pesados (camiones y autobuses) en la corriente de tránsito depende de las condiciones de las pendientes, así como de la composición de los volúmenes de tránsito. Pueden seleccionarse factores de equivalencia de vehículos livianos para cada una de las tres siguientes condiciones: segmentos extensos de autopistas (en terreno a nivel, ondulado y montañoso), tramos específicos en pendientes ascendentes y tramos específicos en pendientes descendentes (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018). Lo anterior justifica el efecto adverso que se genera en carreteras montañosas de Colombia, cuando viajeros recreativos se ven sometidos a compartir la carretera con vehículos pesados.

El factor de corrección por camiones (f_{HV}) se calcula con la siguiente fórmula:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_c(E_c - 1)} \quad (4)$$

Donde:

f_{HV} : Factor de corrección por camiones

P_c : Porcentaje de camiones

E_c : Factor de equivalencia de camiones

El equivalente de camiones y el factor de corrección de camiones para cada tipo de terreno se presentan en la tabla 5-7 a continuación:

Tabla 5-7 Equivalente de camiones para tipo de terreno genérico

Tipo de terreno	Equivalente de camión, EC
Plano	1.8
Ondulado	2.3
Montañoso	4.4

Fuente: (INVIAS, 2022)

5.3.2 Rampas en ascenso

Esta situación corresponde a sectores de análisis con pendientes ascendentes sostenidas. Es posible realizar ponderaciones de pendientes en tramos con rampas continuas en ascenso con longitudes de pendientes menores a 2,000 m. Si se supera este límite de longitud se deberá estudiar esa rampa en forma independiente. (INVIAS, 2022)

Para determinar los equivalentes de camión, el Manual de capacidad y niveles de servicio del Invias presenta una tabla que relaciona la pendiente longitudinal, entre el 0 y 8 %, con la longitud de la rampa, entre 0 y 800 metros, con el porcentaje de camiones resultante, P_c , determinado para el sector de estudio.

5.3.3 Rampas en descenso

Esta situación corresponde a sectores de análisis con pendientes descendentes sostenidas. Es posible realizar ponderaciones de pendientes en tramos con rampas continuas en descenso con longitudes de pendientes menores de 1,500 m. Si se supera este límite de longitud se deberá estudiar esa rampa en forma independiente (INVIAS, 2022).

Para la equivalencia de camiones en las rampas en ascenso, el Manual de capacidad y niveles de servicio del INVIAS presenta una tabla que relaciona la pendiente longitudinal 0% y el 8% y longitudes entre el 500 m y 8,000 m; para rampas en descenso la relación se presenta entre pendientes del $\leq -2\%$ y -8% , con la longitud de la rampa, entre 500 y 9,000 m, con el porcentaje de camiones resultante, P_c , determinado para el sector de estudio.

5.4 Paso 4 – Determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis

En el medio colombiano la velocidad tope a la que viajan los conductores en un momento dado es función, principalmente, de las restricciones u oportunidades que ofrezca el trazado de la carretera, el estado de la superficie de la calzada, las condiciones climáticas, la intensidad del tráfico y las características del vehículo y, en menor medida,

por las señales de límite de velocidad colocadas en la vía o por una eventual intervención de los agentes de tránsito (Instituto Nacional de Vías, 2008)

Con referencia a lo anterior, el desarrollo de la metodología contenida en el Manual de capacidad y niveles de servicio del INVIAS ha considerado todas las posibles restricciones que se pueden presentar en el trazado de una carretera en Colombia, por lo que la velocidad de operación en el sector de análisis (V_i) se determina con la curva maestra de análisis seleccionada en el paso 2 (figura 4.4) y el flujo vehicular calculado en el paso 3, estimando que dicha velocidad representa las condiciones reales del sector de estudio.

5.5 Paso 5 - Cálculo de la densidad

La densidad se define como, el número N , de vehículos que ocupan una longitud específica, d , de una vialidad en un momento dado. Generalmente se expresa en vehículos por kilómetro (veh/km), ya sea referido a un carril o a todos los carriles de una calzada (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

Significa entonces, que la densidad está directamente relacionada con la ocupación de las vías públicas, es decir, con la interacción que tienen los usuarios al encontrar otros vehículos compartiendo en su recorrido, por lo que se puede entender que la densidad dependiendo del tipo de vía, puede generar una percepción subjetiva de comodidad y seguridad de los usuarios, lo que hace a la densidad, la variable de efectividad asumida para determinar el nivel de servicio.

Para el cálculo de la densidad de cada sector de análisis, en veh/km/carril, el Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril del INVIAS dio alcance a la siguiente fórmula:

$$D = \frac{v_p}{V}; v_p = q_p \quad (5)$$

Donde:

D: Densidad, en veh/km/carril

q_p : Flujo de tránsito, en ades/h/carril

Vp: Flujo de tránsito, en ades/h/carril

V: Velocidad de operación, en km/h

Para un análisis más objetivo del Nivel de Servicio de la vía, en este estudio se incluyen dos análisis adicionales para situaciones típicas de las carreteras colombianas, los cuales no han sido consideradas en el Manual de Capacidad y Nivel de Servicio para vías multicarril del INVIAS 2022, estos son, por un lado, la participación de las motocicletas y por otro las estacionalidades, es decir las temporadas de festividades o vacacionales.

Con respecto a la participación de motocicletas, se requirió realizar un conteo y análisis de tráfico de estas para considerarlas como un automóvil directo equivalente en la vía, esta situación está justificada, además, en la autorización que tienen estos vehículos para transitar sobre las vías nacionales.

Lo anterior, tiene sustento en la Ley 1239 de 2008 por medio de la cual se modificó parcialmente el código nacional de tránsito así: *“Artículo 96. Las motocicletas se sujetarán a las siguientes normas específicas: 1. Deben transitar ocupando un carril, observando lo dispuesto en los artículos 60 y 68 del presente Código”*. (Congreso de Colombia, 2008)

Por otra parte, es de considerar la posible variación del nivel de servicio de la vía durante las temporadas de fechas especiales o estacionalidades, ya que se trata de la vía por la cual se conectan los viajeros provenientes del centro y norte del país con la zona sur-occidente específicamente hacia los departamentos del Valle del Cauca, Cauca y Nariño; adicionalmente movilizan durante varias fechas del año feligreses que tienen como destino uno de los centros religiosos más importantes del país, la Basílica del Señor de Los Milagros de Buga, lo que justifica la relevancia de establecer el nivel de servicio, NS, bajo la influencia del tráfico en temporadas como año nuevo, la Semana Santa, vacaciones de mitad de año y la navidad.

5.6 Paso 6 – Cálculo del nivel de servicio, NS

Para la determinación del Nivel de Servicio, NS, se utiliza como variable de efectividad la densidad calculada para cada uno de los sectores de estudio que se

identificaron y, con estos valores de densidad y la curva maestra indicada en el paso 2 (figura 5.2), se determina el Nivel de Servicio, NS, ofrecido en la vía para cada uno de los sectores identificados.

Los Niveles de Servicio para tramos de carretera de varios carriles se presentan en la tabla 5.6 y corresponden a niveles de servicio definidos para las carreteras multicarril de Colombia.

El Nivel de Servicio, NS, definido sobre la base de la densidad, es una medida de la proximidad de los vehículos, uno a otro, en el flujo de tráfico.

Para Niveles de Servicio, NS, 'A' a 'D', los criterios son los mismos que los de tramos de autopista básica. Esta clasificación es apropiada, ya que ambos representan flujo ininterrumpido multicarril. Los límites entre 'E' y 'F', representan la capacidad.

Tabla 5-8 Niveles de servicio en carreteras multicarril de Colombia

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

Fuente: (INVIAS, 2022)

5.7 Cálculo del nivel de servicio por el método HCM 2016

Para dar alcance al cumplimiento de dos de los objetivos específicos planteados en el trabajo, se analizarán los mismos sectores definidos en la carretera (paso No.1) y en posteriormente se procede aplicando los factores de ajuste establecidos por la metodología del Manual de Capacidad y Nivel de Servicio de los Estados Unidos (HCM), para determinar los datos de entrada que permitan hallar el nivel de servicio NS de cada sector con el fin de realizar la comparación de los resultados obtenidos para cada sector bajo las dos metodologías.

En relación con lo anterior, la finalidad al realizar el análisis comparativo de los resultados no es otra que satisfacer la inquietud técnica planteada sobre la pertinencia de los resultados al aplicar el manual de capacidad y nivel de servicio para vías multicarril publicado por INVIAS en el mes de mayo del año 2022, recordando que este es una adaptación del manual HCM 2016, teniendo en cuenta las condiciones topográficas y de operación propias de las carreteras Colombianas en comparación con las de Estados Unidos, por lo que resulta razonable que se hayan definido propios factores de corrección. En el capítulo de resultados podremos establecer con datos, las diferencias en los datos obtenidos en cuanto al nivel de servicio, NS.

5.8 Cálculo del nivel de servicio bajo la influencia de motocicletas y en estacionalidades

Una vez obtenido el nivel de servicio de cada sector bajo las condiciones que exigen los manuales del INVIAS 2022 y el HCM 2016, y con el interés de analizar condiciones de tráfico que corresponden a la realidad de operación de las carreteras colombianas, que no han sido consideradas específicamente en los mismos, se presentará el resultado del nivel de servicio, NS, bajo la influencia de las siguientes condiciones adicionales:

1. Bajo la influencia de la participación de motocicletas
2. Bajo la influencia de la participación de tráfico en periodos estacionales (navidad, año nuevo, Semana Santa, vacaciones de mitad de año).

6. Resultados

6.1 Cálculo mediante el manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril del INVIAS 2022.

En relación con los objetivos propuestos, se procedió a determinar la capacidad y nivel de servicio de la doble calzada Buga-Tuluá-La Paila-La Victoria con base en el Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril del INVIAS 2022 y del Manual de Capacidad y Nivel de Servicio de los Estados Unidos HCM 2016, se desarrollaron los siguientes pasos:

- Paso 1: sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de la información necesaria para usar el manual.
- Paso 2: asignar una velocidad a flujo libre a cada sector de análisis.
- Paso 3: para cada sector, fijar condiciones prevalecientes como el número de carriles, ancho de carril en m, ancho promedio de berma en m, densidad de accesos en puntos/km, ancho de separador en m.
- Paso 4: determinación del flujo vehicular en la hora pico en ade/h/carril en cada sector de análisis.
- Paso 5: cálculo de la capacidad, densidad y el correspondiente nivel de servicio de cada sector.

6.1.1 Paso 1-Sectorización

Después del análisis de la información diseño de la vía y de los recorridos de inspección realizados, en el proceso de sectorización se dividió cada calzada en varios tramos definidos de acuerdo con la similitud de sus características geométricas (anchos de calzada, ancho de bermas, ancho de separador, etc.), obteniendo la relación de tramos que se presenta a continuación:

División de la calzada en sentido sur-norte:

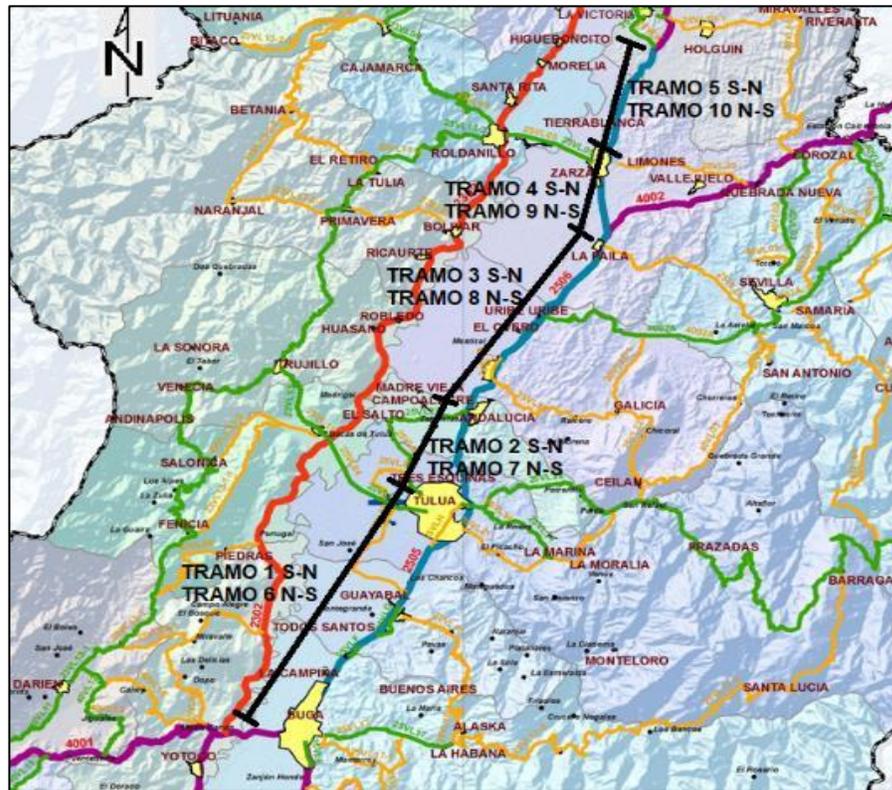
- Tramo 1: Buga – Tuluá, del PR 66+902 al PR 89+200
- Tramo 2: Tuluá – Andalucía, del PR 89+200 al PR 102+750
- Tramo 3: Andalucía – La Paila, del PR 0+000 al PR 23 + 000
- Tramo 4: La Paila – Zarzal, del PR 23+000 al PR 28 + 000
- Tramo 5: Zarzal – La Victoria, del PR 28 + 000 al PR 42 + 740

División de la calzada en sentido norte-sur:

- Tramo 6: Buga – Tuluá, del PR 66+902 al PR 89+200
- Tramo 7: Tuluá – Andalucía, del PR 89+200 al PR 102+750
- Tramo 8: Andalucía – La Paila, del PR 0+000 al PR 23 + 000
- Tramo 9: La Paila – Zarzal, del PR 23 + 100 al PR 32 + 140
- Tramo 10: Zarzal – La Victoria, del PR 32 + 140 al PR 42 + 740

Para ilustración de los anteriores tramos definidos, se presenta la figura 6-1 a continuación:

Figura 6-1 Tramos definidos por calzada



Fuente: Adaptación propia

Como puede verse, las dos calzadas que componen la vía multicarril objeto del estudio se dividieron en varios sectores de geometría homogénea, identificados por sus postes de referencia PR, de inicio y fin, teniendo en cuenta, sobre todo, factores de tipo geométrico, para lo cual se hizo un reconocimiento previo de la vía y se revisaron y estudiaron los planos del diseño en planta de la carretera y los resultados del estudio de velocidad de esta, acciones que permitieron obtener la siguiente información:

- Tipo de carretera: multicarril
- Geometría de la carretera: Topografía predominante plana con amplios radios de curvatura
- Planta: información básica de las curvas horizontales
- Sección transversal: peraltes, anchos de calzada, existencia y ancho del separador, bermas, existencia y ancho de zona despejada.

Posteriormente, a cada sector se le asignó una clasificación de acuerdo con los tipos y características geométricas que lo componen, por lo que durante el proceso de definición de tramos y sectores se recorrió varias veces la carretera, con el fin de realizar una primera propuesta, basada en:

- Identificación de los diferentes tipos de terreno.
- Sensibilización de las velocidades en condiciones de flujo libre para el vehículo. Lo que se espera es que en la mayoría de los casos las velocidades tiendan a variar en la medida que el terreno obligue a la geometría de la vía a hacerlo. Para ello se tuvieron en cuenta las velocidades de diseño de cada uno de los tramos de la carretera.

En efecto, se definieron 49 sectores los cuales se relacionan en la tabla 6-1 a continuación:

Tabla 6-1 Sectorización de la vía

No. sector	PR inicial	PR final	Longitud (m)	Velocidad diseño (km/h)	Radio min (m)	Pendiente máx (%)	Ancho calzada (m)	Ancho berma		Accesos controlados (si, no)	Concentración peatones (sin, con)	Peatones frecuentes (con, sin)	Velocidad genérica, VG* (km/h)
								I	D				
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental													
1	66+902	71+590	4.688	80	418,2	1,96	7,3	0,6	1,9	no	sin	sin	90 B ₁
2	71+590	76+700	5.110	100	358,7	1,71	7,3	0,6	1,9	no	sin	sin	90 B ₁
3	76+700	78+300	1.600	120	684,8	0,90	7,3	0,8	1,9	no	sin	sin	90 B ₁
4	78+300	83+000	4.700	120	661,1	1,40	7,3	0,8	1,9	no	sin	sin	90 B ₁
5	83+000	86+080	3.080	120	887,2	1,48	7,3	0,8	1,9	no	sin	sin	90 B ₁
6	86+080	89+200	3.120	100	68,0	1,23	7,3	0,8	1,9	no	sin	sin	80 C ₁
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental													
7	89+200	92+000	3.300	80	196,2	2,76	7,3	0,4	1,6	no	sin	sin	80 C ₁
8	92+000	95+000	3.475	80	250,0	4,40	7,3	0,4	1,6	no	sin	sin	90 B ₁
9	95+000	98+500	3.500	80	265,5	2,28	7,3	0,9	1,9	no	sin	sin	90 B ₁
10	98+500	102+000	3.500	80	134,6	2,94	7,3	0,9	1,9	no	sin	sin	80 C ₁
11	102+000	102+750	750	80	474,0	-1,60	7,3	0,6	3,3	no	sin	sin	90 B ₁
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental													
12	0+000	3+400	3.400	80	343,4	7,83	7,3	0,6	1,9	no	sin	sin	90 B ₁
13	3+400	3+800	400	80	231,5	0,82	7,3	0,6	1,9	no	sin	sin	90 B ₁
14	3+800	5+000	1.200	80	296,5	1,54	7,3	0,6	1,9	no	sin	sin	90 B ₁
15	5+000	8+000	3.000	80	47,0	7,00	7,3	0,5	1,2	no	sin	sin	80 C ₁
16	8+000	12+116	4.116	80	603,0	4,70	7,3	0,5	1,2	no	sin	sin	90 B ₁
17	12+116	15+808	3.692	100	920,0	0,70	7,3	0,5	1,3	no	sin	sin	90 B ₁
18	15+808	19+500	3.692	100	546,1	1,42	7,3	0,5	1,3	no	sin	sin	90 B ₁
19	19+500	20+700	1.200	80	1031,3	3,80	7,3	0,5	2,4	no	sin	sin	90 B ₁
20	20+700	23+000	2.350	80	185,0	2,50	7,3	0,5	1,9	no	sin	sin	80 C ₁
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental													
21	23+100	28+000	4.900	80	450,0	1,65	7,3	0,5	1,8	no	sin	sin	90 B ₁
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental													
22	28+000	33+000	4.775	80	450,0	5,00	7,3	0,5	1,0	no	sin	sin	90 B ₁
23	33+000	38+500	5.500	80	130,0	2,78	7,3	0,5	1,0	no	sin	sin	80 C ₁
24	38+500	42+740	4.240	80	250,0	2,28	7,3	0,5	1,0	no	sin	sin	90 B ₁
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental													
25	66+902	69+650	2.748	80	418,2	0,62	7,3	1,0	2,0	no	sin	sin	90 B ₁
26	69+650	74+200	4.550	80	358,7	1,60	7,3	1,0	2,0	no	sin	sin	90 B ₁
27	74+200	76+800	2.600	100	513,9	1,53	7,3	1,0	2,0	no	sin	sin	90 B ₁
28	76+800	78+300	1.500	120	648,0	1,67	7,3	1,0	2,0	no	sin	sin	90 B ₁

No. sector	PR inicial	PR final	Longitud (m)	Velocidad diseño (km/h)	Radio min (m)	Pendiente máx (%)	Ancho calzada (m)	Ancho berma (m)		Accesos controlados (si, no)	Concentración peatones (sin, con)	Peatones frecuentes (con, sin)	Velocidad genérica, VG * (km/h)
								I	D				
29	78+300	83+200	4.900	120	661,1	2,34	7,3	1,0	2,0	no	sin	sin	90 B ₁
30	83+200	89+200	6.000	100	68,0	1,55	7,3	1,0	2,0	no	sin	sin	80 C ₁
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental													
31	89+200	92+000	3.300	80	196,2	0,24	7,3	0,5	1,4	no	sin	sin	80 C ₁
32	92+000	95+000	3.475	80	250,0	7,85	7,3	0,5	1,4	no	sin	sin	90 B ₁
33	95+000	98+500	3.500	80	445,0	3,50	7,3	0,5	1,4	no	sin	sin	90 B ₁
34	98+500	102+000	3.500	80	443,0	2,66	7,3	1,0	1,9	no	sin	sin	90 B ₁
35	102+000	102+750	750	80	No curvas	1,82	7,3	0,5	2,8	no	sin	sin	90 B ₁
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental													
36	0+000	3+600	3.600	80	268,0	7,35	7,3	0,5	1,3	no	sin	sin	90 B ₁
37	3+600	4+800	1.200	80	231,5	1,00	7,3	0,9	1,9	no	sin	sin	90 B ₁
38	4+800	7+800	3.000	80	250,0	7,00	7,3	0,4	1,2	no	sin	sin	90 B ₁
39	7+800	10+000	2.200	80	47,0	0,52	7,3	1,0	1,8	no	sin	sin	80 C ₁
40	10+000	12+225	2.225	80	603,0	5,60	7,3	1,0	1,8	no	sin	sin	90 B ₁
41	12+225	14+200	1.975	100	2221,0	0,79	7,3	0,5	1,9	no	sin	sin	90 B ₁
42	14+200	19+500	5.300	100	546,1	1,00	7,3	1,0	1,8	no	sin	sin	90 B ₁
43	19+500	20+700	1.200	80	380,0	3,68	7,3	0,4	1,4	no	sin	sin	90 B ₁
44	20+700	23+000	2.300	80	350,0	1,70	7,3	1,0	1,8	no	con	con	70 B ₁
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental													
45	23+000	26+500	3.500	80	sin curvas	1,57	7,3	0,6	1,8	no	sin	sin	90 B ₁
46	26+500	28+000	1.500	80	1000,0	0,44	7,3	0,6	1,8	no	sin	sin	90 B ₁
47	28+000	32+140	3.915	80	450,0	4,76	7,3	0,6	1,8	no	sin	sin	90 B ₁
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental													
48	32+140	36+800	4.660	80	400,0	3,95	7,3	0,6	1,8	no	sin	sin	90 B ₁
49	36+800	42+740	5.940	80	250,0	2,27	7,3	0,4	1,8	no	sin	sin	90 B ₁

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el análisis de sectorización se identificó la existencia de algunos sectores que, según los criterios de análisis de diseño geométrico indicados en los numerales 5.3.2 y 5.3.3 de la metodología, cuentan con tramos que fueron considerados como rampas de ascenso y descenso, los cuales recibirán un análisis del nivel de servicio, NS, por separado para determinar si incidencia sobre el nivel de servicio, NS del sector donde se encuentran; estas rampas se relacionan en la tabla 6-2:

Tabla 6-2 Rampas de ascenso

No. Sector	PR inicial	PR final	Rampa de ascenso		Pendiente (%)	Longitud de rampa (m)
			PR inicial	PR final		
15	K5+000	K8+000	K5+515	K5+926	6,19%	411
16	K8+000	K12+116	K10+762	K11+525	3,22%	763
19	K19+500	K20+700	K19+954	K20+359	3,75%	405
22	K28+000	K33+000	K30+353	K31+025	5,18%	672

Fuente: Elaboración propia

En total se identificaron cuatro (4) tramos que se analizaron como rampas de ascenso por tener pendientes superiores a las predominantes en el proyecto (plano).

Igualmente se identificaron cuatro (4) tramos que por sus longitudes y pendientes sostenidas diferentes a las del resto del sector donde se ubican, se consideraron como rampas de descenso y se les realizó análisis del nivel de servicio, NS, por separado. Las rampas de descenso definidas se relacionan en la tabla No. 6-3:

Tabla 6-3 Rampas de descenso

No. Sector	PR inicial	PR final	Rampa de descenso		Pendiente (%)	Longitud de rampa (m)
			PR inicial	PR final		
38	K4+800	K7+800	K5+515	K5+926	6,19%	411
40	K10+000	K12+225	K10+762	K11+525	3,22%	763
43	K19+500	K20+700	K19+954	K20+359	3,75%	405
47	K28+000	K32+140	K30+353	K31+025	5,18%	672

Fuente: Elaboración propia

Tal como se ha visto, la sectorización obtenida con 49 unidades, permite evidenciar la dinámica de la vía, la cual pese a contar con características de diseño geométrico favorables con radios de curvatura amplios, pendientes bajas y longitudes de entre tangencias amplias que obedecen al desarrollo de la vía en una zona plana.

Una vez definida la sectorización y con los datos obtenidos para cada sector, se procedió al análisis de la velocidad a flujo libre en el paso No.2 de la metodología como se expone posteriormente.

6.1.2 Pasos 2 y 3 - Determinación de la velocidad a flujo libre

De acuerdo con lo indicado en el paso No.2 de la metodología, se estableció la velocidad a flujo libre base de cada sector, esta fue adoptada de la velocidad genérica, VG, del sector, con base en el tipo de carretera (A1, B1, C1) relacionada anteriormente en la tabla 5-2 del presente informe, a partir de las siguientes características:

- Velocidad de diseño en km/h
- Radio mínimo en metros
- Pendiente máxima en porcentaje (%)
- Ancho de calzada en metros (m)
- Ancho berma izquierda en metros (m)
- Ancho berma derecha en metros (m)

Para los tipos de carretera B1 y C1 se presentan dos subtipos, cada uno, de acuerdo con las características de los siguientes puntos:

- Accesos controlados (con, sin)
- Concentración de peatones (con, sin)
- Peatones frecuentes (con, sin)

La aplicación del procedimiento de análisis anterior permitió establecer como velocidad a flujo libre base, la velocidad genérica VG, de cada sector, como se indica en la tabla 6.1 anterior. Esta velocidad, posteriormente tendrá los ajustes que se describen más adelante.

El número total de puntos de acceso por Km y por milla para efectos de cálculo por las dos metodologías (INVIAS – HCM) identificados en cada uno de los sectores de la carretera Buga – Tuluá – La Paila – La Victoria, se presentan en la tabla 6-4 a continuación:

Tabla 6-4 Densidad de puntos de acceso

No. sector	PR inicial	PR final	Longitud (km) (millas)		Puntos de acceso	Densidad de puntos de acceso (puntos/km) (puntos/milla)	
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental							
1	66+902	71+590	4,68	2,91	10	2,13	3,43
2	71+590	76+700	5,11	3,17	10	1,96	3,15
3	76+700	78+300	1,60	0,99	2	1,25	2,01
4	78+300	83+000	4,70	2,92	16	3,40	5,48
5	83+000	86+080	3,08	1,91	14	4,55	7,31
6	86+080	89+200	3,12	1,94	9	2,88	4,64
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental							
7	89+200	92+000	3,30	2,05	4	1,21	1,95
8	92+000	95+000	3,47	2,16	5	1,44	2,32
9	95+000	98+500	3,50	2,17	5	1,43	2,30
10	98+500	102+000	3,50	2,17	6	1,71	2,76
11	102+000	102+750	0,75	0,47	3	4,00	6,44
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental							
12	0+000	3+400	3,40	2,11	3	0,88	1,42
13	3+400	3+800	0,40	0,25	2	5,00	8,03
14	3+800	5+000	1,20	0,75	9	7,50	12,06
15	5+000	8+000	3,00	1,86	4	1,33	2,15
16	8+000	12+116	4,17	2,56	9	2,19	3,52
17	12+116	15+808	3,69	2,30	5	1,35	2,18
18	15+808	19+500	3,69	2,30	9	2,44	3,92
19	19+500	20+700	1,20	0,75	1	0,83	1,34
20	20+700	23+000	2,35	1,46	4	1,70	2,74
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental							
21	23+100	28+000	4,90	3,04	2	0,41	0,66
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental							
22	28+000	33+000	4,77	2,97	3	0,63	1,01
23	33+000	38+500	5,50	3,42	3	0,55	0,88
24	38+500	42+740	4,24	2,63	3	0,71	1,14
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental							
25	66+902	69+650	2,75	1,71	8	2,91	4,68
26	69+650	74+200	4,55	2,83	9	1,98	3,18
27	74+200	76+800	2,60	1,62	7	2,69	4,33
28	76+800	78+300	1,50	0,93	3	2,00	3,22

No. sector	PR inicial	PR final	Longitud (km) (millas)		Puntos de acceso	Densidad de puntos de acceso (puntos/km) (puntos/milla)	
29	78+300	83+200	4,90	3,04	8	1,63	2,63
30	83+200	89+200	6,00	3,73	5	0,83	1,34
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental							
31	89+200	92+000	3,30	2,05	4	1,21	1,95
32	92+000	95+000	3,47	2,16	4	1,15	1,85
33	95+000	98+500	3,50	2,17	4	1,14	1,84
34	98+500	102+000	3,50	2,17	6	1,71	2,76
35	102+000	102+750	0,75	0,45	2	2,67	4,29
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental							
36	0+000	3+600	3,60	2,24	6	1,67	2,68
37	3+600	4+800	1,20	0,75	1	0,83	1,34
38	4+800	7+800	3,00	1,86	1	0,33	0,54
39	7+800	10+000	2,20	1,37	1	0,45	0,73
40	10+000	12+225	2,22	1,38	4	1,80	2,89
41	12+225	14+200	1,97	1,23	6	3,04	4,89
42	14+200	19+500	5,30	3,29	3	0,57	0,91
43	19+500	20+700	1,20	0,75	0	0,00	0,00
44	20+700	23+000	2,30	1,43	9	3,91	6,30
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental							
45	23+000	26+500	3,50	2,17	0	0,00	0,00
46	26+500	28+000	1,50	0,93	2	1,33	2,15
47	28+000	32+140	3,91	2,43	3	0,77	1,23
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental							
48	32+140	36+800	4,66	2,90	6	1,29	2,07
49	36+800	42+740	5,94	3,69	3	0,51	0,81

Fuente: Elaboración propia

La relación de las condiciones prevalecientes identificadas para cada sector durante las inspecciones de campo realizadas en los 80 km de carretera en doble calzada y con el posterior procesamiento de información oficina analizando los planos de diseño de la vía, con las cuales se realizará el ajuste de la velocidad genérica, se presentan en la siguiente tabla 6-5:

Tabla 6-5 Factores geométricos por sector

No. sector	PR inicial	PR final	Longitud (km)	Velocidad a flujo libre base (velocidad genérica) (km/h)	No. de carriles	Ancho de carril (m)	Ancho promedio de bermas (m)	(Puntos de acceso) Densidad (Punto/km)	Ancho del separador (m)
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental									
1	66+902	71+590	4.688	90	2	3.65	1,25	2,13	4
2	71+590	76+700	5.110	90	2	3.65	1,25	1,96	4
3	76+700	78+300	1.600	90	2	3.65	1,35	1,25	4
4	78+300	83+000	4.700	90	2	3.65	1,35	3,40	4
5	83+000	86+080	3.080	90	2	3.65	1,35	4,55	4
6	86+080	89+200	3.120	80	2	3.65	1,35	2,88	4
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental									
7	89+200	92+000	3.300	80	2	3.65	1,00	1,21	12
8	92+000	95+000	3.475	90	2	3.65	1,00	1,44	12
9	95+000	98+500	3.500	90	2	3.65	1,40	1,43	12
10	98+500	102+000	3.500	80	2	3.65	1,40	1,71	12
11	102+000	102+750	750	90	2	3.65	1,95	4,00	12
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental									
12	0+000	3+400	3.400	90	2	3.65	1,25	0,88	13
13	3+400	3+800	400	90	2	3.65	1,25	5,00	13
14	3+800	5+000	1.200	90	2	3.65	1,25	7,50	13
15	5+000	8+000	3.000	80	2	3.65	0,85	1,33	13
16	8+000	12+116	4.116	90	2	3.65	0,85	2,19	13
17	12+116	15+808	3.692	90	2	3.65	0,90	1,35	13
18	15+808	19+500	3.692	90	2	3.65	0,90	2,44	13
19	19+500	20+700	1.200	90	2	3.65	1,45	0,83	13
20	20+700	23+000	2.350	80	2	3.65	1,20	1,70	13
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental									
21	23+100	28+000	4.900	90	2	3.65	1,15	0,41	4
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental									
22	28+000	33+000	4.775	90	2	3.65	0,75	0,63	4
23	33+000	38+500	5.500	80	2	3.65	0,75	0,55	4
24	38+500	42+740	4.240	90	2	3.65	0,75	0,71	4
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental									
25	66+902	69+650	2.748	90	2	3.65	1,50	2,91	4
26	69+650	74+200	4.550	90	2	3.65	1,50	1,98	4
27	74+200	76+800	2.600	90	2	3.65	1,50	2,69	4

No. sector	PR inicial	PR final	Longitud (km)	Velocidad a flujo libre base (velocidad genérica) (km/h)	No. de carriles	Ancho de carril (m)	Ancho promedio de bermas (m)	(Puntos de acceso) Densidad (Punto/km)	Ancho del separador (m)
28	76+800	78+300	1.500	90	2	3.65	1,50	2,00	4
29	78+300	83+000	4.900	90	2	3.65	1,50	1,63	4
30	83+000	89+200	6.000	80	2	3.65	1,50	0,83	4
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental									
31	89+200	92+000	3.300	80	2	3.65	0,95	1,21	12
32	92+000	95+000	3.475	90	2	3.65	0,95	1,15	12
33	95+000	98+500	3.500	90	2	3.65	0,95	1,14	12
34	98+500	102+000	3.500	90	2	3.65	1,45	1,71	12
35	102+000	102+750	750	90	2	3.65	1,65	2,67	12
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental									
36	0+000	3+600	3.600	90	2	3.65	0,90	1,67	13
37	3+600	4+800	1.200	90	2	3.65	1,40	0,83	13
38	4+800	7+800	3.000	90	2	3.65	0,80	0,33	13
39	7+800	10+000	2.200	80	2	3.65	1,40	0,45	13
40	10+000	12+225	2.225	90	2	3.65	1,40	1,80	13
41	12+225	14+200	1.975	90	2	3.65	1,20	3,04	13
42	14+200	19+500	5.300	90	2	3.65	1,40	0,57	13
43	19+500	20+700	1.200	90	2	3.65	0,90	0,00	13
44	20+700	23+000	2.300	70	2	3.65	1,40	3,91	13
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental									
45	23+000	26+500	3.500	90	2	3.65	1,20	0,00	4
46	26+500	28+000	1.500	90	2	3.65	1,20	1,33	4
47	28+000	32+140	3.915	90	2	3.65	1,20	0,77	4
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental									
48	32+140	36+800	4.660	90	2	3.65	1,20	1,29	4
49	36+800	42+740	5.940	90	2	3.65	1,10	0,51	4

Fuente: Elaboración propia

Los datos anteriores se tomaron como base para el ajuste de la velocidad a flujo libre, información que junto con los parámetros de flujo y densidad que se presentarán más adelante, son los insumos necesarios para el análisis de capacidad y nivel de servicio de cada sector.

6.1.3 Paso 4- Determinación del flujo vehicular en la hora pico en ade/h/carril

Para la determinación del factor de hora pico, FHP, se realizaron varios análisis por tramo obteniendo resultados similares; a continuación, se presenta el resultado a partir del volumen horario de máxima demanda registrado el día 15 de noviembre de 2021, que es de **871 Veh/h**, con los siguientes parciales de cada 15 minutos:

$$Q_{0-15} = 201 \text{ veh}$$

$$Q_{15-30} = 209 \text{ veh}$$

$$Q_{30-45} = 242 \text{ veh}$$

$$Q_{45-60} = 219 \text{ veh}$$

De acuerdo con el numeral el numeral 5.1.4.1 de la metodología, adoptada el libro Ingeniería de Transito – Fundamentos y aplicaciones, de Rafael Cal y Mayor R. y James Cárdenas G, se obtiene:

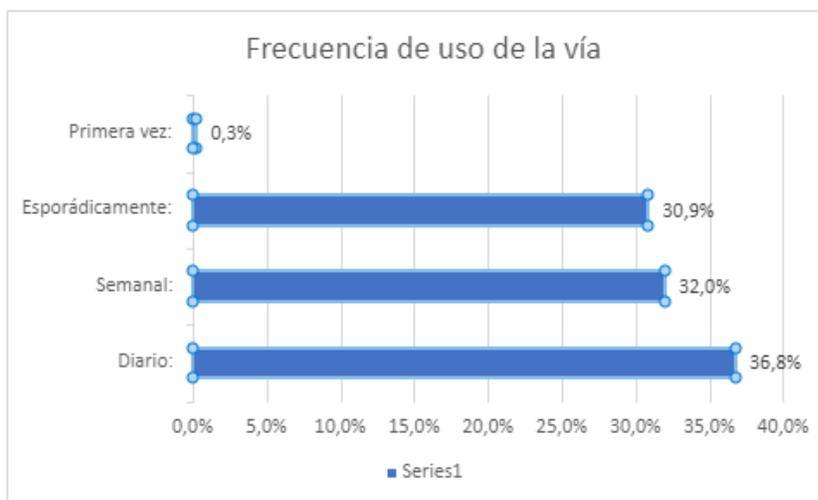
$$FHMD = \frac{871}{4(242)} = 0.899 \quad (6)$$

Para el presente estudio se adopta: **FHP= 0.90**

En el mismo sentido, los flujos vehiculares en la hora pico para cada sector fueron determinados de acuerdo con lo indicado en el paso No.2 de la metodología; con el respectivo porcentaje de vehículos pesados en la hora pico; resultados que fueron establecidos a partir de los datos de los aforos vehiculares suministrados por el Concesionario de la vía, correspondientes a los peajes Betania y Uribe y a las estaciones de conteo del INVIAS realizados en el tramo La Paila-Zarzal-La Victoria entre los meses de agosto de 2021 y julio de 2022.

El valor de ajuste por población de conductores, f_p , 1,00, se determinó con sustento en los resultados de frecuencia de uso de la vía, que se encuentran en la encuesta de satisfacción de usuarios realizada para el ccesionario de la vía por la empresa consultora MK Consulting SAS, cuyos detalles se encuentran en el anexo No.4 y se presentan la siguiente figura 6-1:

Figura 6-1 Distribución de frecuencia de uso de la vía



Fuente: Elaboración propia

Los detalles del análisis del flujo vehicular en la hora pico se presentan en el anexo No.3 del presente trabajo, y los resultados obtenidos para cada sector se presentan en la tabla 6-6 a continuación:

Tabla 6-6 Flujos vehiculares en la hora pico en ade/h/carril

No. sector	PR inicial	PR final	Flujo vehicular hora pico* Veh/h	Porcentaje de vehículos pesados %	Tipo de terreno
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental					
1	66+902	71+590	845	17,1%	Plano
2	71+590	76+700	845	17,1%	Plano
3	76+700	78+300	845	17,1%	Plano
4	78+300	83+000	845	17,1%	Plano
5	83+000	86+080	845	17,1%	Plano
6	86+080	89+200	845	17,1%	Plano
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental					
7	89+200	92+000	760	17,1%	Plano
8	92+000	95+000	760	17,1%	Plano
9	95+000	98+500	760	17,1%	Plano
10	98+500	102+000	760	17,1%	Plano
11	102+000	102+750	760	17,1%	Plano
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental					
12	0+000	3+400	590	20,6%	Plano
13	3+400	3+800	590	20,6%	Plano
14	3+800	5+000	590	20,6%	Plano
15	5+000	8+000	590	20,6%	Plano

No. sector	PR inicial	PR final	Flujo vehicular hora pico* Veh/h	Porcentaje de vehículos pesados %	Tipo de terreno
16	8+000	12+116	590	20,6%	Plano
17	12+116	15+808	590	20,6%	Plano
18	15+808	19+500	590	20,6%	Plano
19	19+500	20+700	590	20,6%	Plano
20	20+700	23+000	590	20,6%	Plano
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental					
21	23+100	28+000	236	6,3%	Plano
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental					
22	28+000	33+000	236	6,3%	Plano
23	33+000	38+500	236	6,3%	Plano
24	38+500	42+740	236	6,3%	Plano
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental					
25	66+902	69+650	885	16,6%	Plano
26	69+650	74+200	885	16,6%	Plano
27	74+200	76+800	885	16,6%	Plano
28	76+800	78+300	885	16,6%	Plano
29	78+300	83+200	885	16,6%	Plano
30	83+200	89+200	885	16,6%	Plano
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental					
31	89+200	92+000	795	16,6%	Plano
32	92+000	95+000	795	16,6%	Plano
33	95+000	98+500	795	16,6%	Plano
34	98+500	102+000	795	16,6%	Plano
35	102+000	102+750	795	16,6%	Plano
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental					
36	0+000	3+600	585	20,3%	Plano
37	3+600	4+800	585	20,3%	Plano
38	4+800	7+800	585	20,3%	Plano
39	7+800	10+000	585	20,3%	Plano
40	10+000	12+225	585	20,3%	Plano
41	12+225	14+200	585	20,3%	Plano
42	14+200	19+500	585	20,3%	Plano
43	19+500	20+700	585	20,3%	Plano
44	20+700	23+000	585	20,3%	Plano
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental					
45	23+000	26+500	234	6,3%	Plano
46	26+500	28+000	234	6,3%	Plano
47	28+000	32+140	234	6,3%	Plano
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental					
48	32+140	36+800	234	6,3%	Plano
49	36+800	42+740	234	6,3%	Plano

Fuente: Elaboración propia

De los datos de la tabla 6-6 se resalta que, el proyecto se caracteriza por estar en un terreno plano característico del departamento del Valle del Cauca, con mayor participación de vehículos pesados en el tramo Andalucía-La Paila con un 20.3% y mayor flujo vehicular en la hora pico en el tramo Buga-Tuluá con 845 veh/h.

6.1.4 Paso 5 – Estimar para cada sector la velocidad a flujo libre, capacidad, densidad.

Dando alcance a lo descrito en los numerales 5.4, 5.5 y 5.6 de la metodología, se calcularon los datos de entrada a la macro de Excel denominada “Capacidad y Niveles de Servicio Carreteras Multicarril Colombia 2022” preparada para el INVIAS por la Universidad del Cauca, utilizada para determinar el nivel de servicio NS de cada uno de los sectores identificados para la carretera Buga-Tuluá-La Paila–La Victoria; esos resultados principalmente corresponden al valor de las siguientes características:

- Velocidad a flujo libre, VFL, en km/h
- Capacidad, en ade/h
- Densidad, en ade/km/carril

En tal sentido, la velocidad a flujo libre se obtuvo restando a la velocidad a flujo libre base, VFLB, en este caso la velocidad genérica, VG, los ajustes por ancho de carril, ancho de separador, promedio de ancho de bermas y densidad de accesos.

Los datos para cálculo de la densidad y nivel de servicio NS se presentan en la tabla 6-7 a continuación:

Tabla 6-7 Información de entrada para cálculo del nivel de servicio NS INVIAS 2022

No. Sector	PR inicial	PR final	Veloc. a flujo libre base (VG) (km/h)	Ancho separ. (m)	Ancho carril (m)	No. de carriles	Ancho promedio berma (m)	No. accesos por km (puntos /km)	Volum vehicu (veh/h) *	Factor hora pico FHP	Camiones (%)	Tipo de conductor	Tipo de terreno
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental													
1	66+902	71+590	90	4	3,65	2	1,25	2,13	845	0,9	17,1%	Frecuente	Plano
2	71+590	76+700	90	4	3,65	2	1,25	1,96	845	0,9	17,1%	Frecuente	Plano
3	76+700	78+300	90	4	3,65	2	1,35	1,25	845	0,9	17,1%	Frecuente	Plano
4	78+300	83+000	90	4	3,65	2	1,35	3,40	845	0,9	17,1%	Frecuente	Plano
5	83+000	86+080	90	4	3,65	2	1,35	4,55	845	0,9	17,1%	Frecuente	Plano
6	86+080	89+200	80	4	3,65	2	1,35	2,88	845	0,9	17,1%	Frecuente	Plano
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental													
7	89+200	92+000	80	12	3,65	2	1,00	1,21	760	0,9	17,1%	Frecuente	Plano
8	92+000	95+000	90	12	3,65	2	1,00	1,44	760	0,9	17,1%	Frecuente	Plano
9	95+000	98+500	90	12	3,65	2	1,40	1,43	760	0,9	17,1%	Frecuente	Plano
10	98+500	102+000	80	12	3,65	2	1,40	1,71	760	0,9	17,1%	Frecuente	Plano
11	102+000	102+750	90	12	3,65	2	1,95	4,00	760	0,9	17,1%	Frecuente	Plano
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental													
12	0+000	3+400	90	13	3,65	2	1,25	0,88	590	0,9	20,6%	Frecuente	Plano
13	3+400	3+800	90	13	3,65	2	1,25	5,00	590	0,9	20,6%	Frecuente	Plano
14	3+800	5+000	90	13	3,65	2	1,25	7,50	590	0,9	20,6%	Frecuente	Plano
15	5+000	8+000	80	13	3,65	2	0,85	1,33	590	0,9	20,6%	Frecuente	Plano
16	8+000	12+116	90	13	3,65	2	0,85	2,19	590	0,9	20,6%	Frecuente	Plano
17	12+116	15+808	90	13	3,65	2	0,90	1,35	590	0,9	20,6%	Frecuente	Plano
18	15+808	19+500	90	13	3,65	2	0,90	2,44	590	0,9	20,6%	Frecuente	Plano
19	19+500	20+700	90	13	3,65	2	1,45	0,83	590	0,9	20,6%	Frecuente	Plano
20	20+700	23+000	80	13	3,65	2	1,20	1,70	590	0,9	20,6%	Frecuente	Plano
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental													
21	23+100	28+000	90	4	3,65	2	1,15	0,41	236	0,9	6,3%	Frecuente	Plano
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental													
22	28+000	33+000	90	4	3,65	2	0,75	0,75	236	0,9	6,3%	Frecuente	Plano

No. Sector	PR inicial	PR final	Veloc. a flujo libre base (VG) (km/h)	Ancho separ. (m)	Ancho carril (m)	No. de carriles	Ancho promedio berma (m)	No. accesos por km (puntos /km)	Volumen vehicu (veh/h) *	Factor hora pico FHP	Camiones (%)	Tipo de conductor	Tipo de terreno
23	33+000	38+500	80	4	3,65	2	0,75	0,75	236	0,9	6,3%	Frecuente	Plano
24	38+500	42+740	90	4	3,65	2	0,75	0,75	236	0,9	6,3%	Frecuente	Plano
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental													
25	66+902	69+650	90	4	3,65	2	1,50	2,91	885	0,9	16,6%	Frecuente	Plano
26	69+650	74+200	90	4	3,65	2	1,50	1,98	885	0,9	16,6%	Frecuente	Plano
27	74+200	76+800	90	4	3,65	2	1,50	2,69	885	0,9	16,6%	Frecuente	Plano
28	76+800	78+300	90	4	3,65	2	1,50	2,00	885	0,9	16,6%	Frecuente	Plano
29	78+300	83+000	90	4	3,65	2	1,50	1,63	885	0,9	16,6%	Frecuente	Plano
30	83+000	89+200	80	4	3,65	2	1,50	0,83	885	0,9	16,6%	Frecuente	Plano
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental													
31	89+200	92+000	80	12	3,65	2	0,95	1,21	795	0,9	16,6%	Frecuente	Plano
32	92+000	95+000	90	12	3,65	2	0,95	1,15	795	0,9	16,6%	Frecuente	Plano
33	95+000	98+500	90	12	3,65	2	0,95	1,14	795	0,9	16,6%	Frecuente	Plano
34	98+500	102+000	90	12	3,65	2	1,45	1,71	795	0,9	16,6%	Frecuente	Plano
35	102+000	102+750	90	12	3,65	2	1,65	2,67	795	0,9	16,6%	Frecuente	Plano
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental													
36	0+000	3+600	90	13	3,65	2	0,90	1,67	585	0,9	20,3%	Frecuente	Plano
37	3+600	4+800	90	13	3,65	2	1,40	0,83	585	0,9	20,3%	Frecuente	Plano
38	4+800	7+800	90	13	3,65	2	0,80	0,33	585	0,9	20,3%	Frecuente	Plano
39	7+800	10+000	80	13	3,65	2	1,40	0,45	585	0,9	20,3%	Frecuente	Plano
40	10+000	12+225	90	13	3,65	2	1,40	1,80	585	0,9	20,3%	Frecuente	Plano
41	12+225	14+200	90	13	3,65	2	1,20	3,04	585	0,9	20,3%	Frecuente	Plano
42	14+200	19+500	90	13	3,65	2	1,40	0,57	585	0,9	20,3%	Frecuente	Plano
43	19+500	20+700	90	13	3,65	2	0,90	0,00	585	0,9	20,3%	Frecuente	Plano
44	20+700	23+000	70	13	3,65	2	1,40	3,91	585	0,9	20,33%	Frecuente	Plano
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental													
45	23+000	26+500	90	4	3,65	2	1,20	0,00	234	0,9	6,3%	Frecuente	Plano
46	26+500	28+000	90	4	3,65	2	1,20	1,33	234	0,9	6,3%	Frecuente	Plano
47	28+000	32+140	90	4	3,65	2	1,20	0,77	234	0,9	6,3%	Frecuente	Plano

No. Sector	PR inicial	PR final	Veloc. a flujo libre base (VG) (km/h)	Ancho separ. (m)	Ancho carril (m)	No. de carriles	Ancho promedio berma (m)	No. accesos por km (puntos /km)	Volumen vehicu (veh/h) *	Factor hora pico FHP	Camiones (%)	Tipo de conductor	Tipo de terreno
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental													
48	32+140	36+800	90	4	3,65	2	1,20	1,29	234	0,9	6,3%	Frecuente	Plano
49	36+800	42+740	90	4	3,65	2	1,10	0,51	234	0,9	6,3%	Frecuente	Plano

* No incluye flujo vehicular de motocicletas

VG: velocidad genérica

Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, los datos de entrada para determinar el nivel de servicio, NS, como se puede evidenciar en la tabla 6.7 anterior, nos presentan un proyecto debidamente sectorizado en donde se encuentran situaciones cambiantes en el recorrido, como pasar de separadores centrales de 4,0 m a 13.0 m, la variación en el ancho promedio de bermas entre 0.75 m y 1,5 m, y las diferencias considerables en la participación de camiones, en los volúmenes de tráfico en la hora pico, en el número de accesos existentes, con lo que sería razonable obtener resultados de capacidad y nivel de servicio NS igualmente diferentes para cada sector.

Sobre el análisis del nivel de servicio, NS, de las rampas de ascenso y descenso establecidas, este se realizó por separado con el fin de comparar los resultados con el nivel de servicio, NS, general obtenido para los sectores donde se encuentran las rampas, lo anterior teniendo en cuenta que, se trata de rampas de longitudes cortas y pendientes bajas inferiores al 8%, lo que no presupone ningún impedimento para la continuidad de la velocidad de tránsito de los vehículos de carga; situación que se evidenció en inspecciones de campo sobre la vía.

6.1.5 Paso 6 - Cálculo del nivel de servicio NS

Conforme con lo indicado en el numeral 5.6 de la metodología, se calcularon los resultados de los niveles de servicio, NS de los 49 sectores identificados en la carretera Buga-Tuluá-La Paila-La Victoria, mediante la macro de Excel denominada "Capacidad y Niveles de Servicio Carreteras Multicarril Colombia" preparada para el INVIAS por la Universidad del Cauca, de la cual se presenta un ejemplo en la figura 6-2 siguiente:

Figura 6-2 Ejemplo de cálculo del nivel de servicio, NS, sector No.1 INVIAS 2022

CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO CARRETERAS MULTICARRIL COLOMBIA 2022			
Carretera:	Doble Calzada Buga-Tuluá-La Paila-La Victoria		
Proyecto:	ESTUDIO CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO CARRETERAS MULTICARRIL TRAMO 1-SECTOR 1 PR66+902/PR71590		
Analista	ING.OLMER ARIAS	Fecha (dd/mm/año):	19/08/2022
		Tipo de análisis	Operación NS diseño: A
VELOCIDAD A FLUJO LIBRE, VL <input type="checkbox"/> Limite de Velocidad			
Tipo de Velocidad VL:	Velocidad genérica, VG	Valor velocidad genérica, km/h	90,0
Límite de Velocidad (km/h):	90,0		
Valor sugerido de VG (km/h):			
Ancho de separador (m):	4,00	No de carriles por calzada:	2
Ancho de carril (m):	3,7	Ancho promedio de bermas (m):	1,35
		No accesos por kilómetro:	4,55
CALCULO DE VELOCIDAD A FLUJO LIBRE			
VG:	90,0	VL Calculada:	85,3
Corrección ancho de carril, f_c :	0,0	Tomar VL de:	90
Corrección promedio ancho de bermas, f_b :	1,7		Ver Manual
Corrección ancho de separador, f_s :	0,0		
Corrección densidad de accesos, f_A :	3,0		
INFORMACION DE VEHICULOS			
Volumen (veh/h):	845	FHP:	0,90
Terreno: (Ver instrucciones)	Genérico Plano	Información de rampas compuestas	
Porcentaje de Vehículos		Segmento	Longitud (m)
Camiones	17,1	EC	Pendiente (%)
fHW	0,867		
Tipo de conductor:	Frecuente		
Flujo vehicular (vp):	542		
		Longitud (m):	3080,0
		Pendiente Ponderada (%):	1,0
RESULTADOS			
Velocidad (km/h):	89,7		
Densidad (Ades/km/Carril):	6,0		
		NIVEL DE SERVICIO: B	

Fuente: Macro de Excel (INVIAS, 2022)

De la figura anterior se deduce que, según el manual INVIAS 2022 el sector No.1 del tramo No.1 Buga-Tuluá, entre el PR 66+902 y PR 71+590, presenta una densidad de 6.0 ade/km/carril correspondiente a un nivel de servicio NS: B.

Los resultados obtenidos para cada sector se calcularon como se registra en los archivos del anexo No.1 y se presentan en la siguiente tabla No. 6-8:

Tabla 6-8 Resultados del nivel de servicio NS método INVIAS 2022

No.	PR inicial	PR final	Velocidad km/h	Capacidad ade/h/carril	Densidad ade/km/carril	Nivel de servicio, NS
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental						
1	66+902	71+590	89,7	2.200	6,0	B
2	71+590	76+700	89,7	2.200	6,0	B
3	76+700	78+300	89,7	2.200	6,0	B
4	78+300	83+000	89,7	2.200	6,0	B
5	83+000	86+080	89,7	2.200	6,0	B
6	86+080	89+200	79,4	2.150	6,8	B
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental						
7	89+200	92+000	79,5	2.150	6,1	A
8	92+000	95+000	89,8	2.200	5,4	A
9	95+000	98+500	89,8	2.200	5,4	A
10	98+500	102+000	79,5	2.150	6,1	A
11	102+000	102+750	89,8	2.200	5,4	A
Tramo 2 – Andalucía – La Paila Oriental						
12	0+000	3+400	89,9	2.200	4,3	A
13	3+400	3+800	89,9	2.200	4,3	A
14	3+800	5+000	79,7	2.150	4,9	A
15	5+000	8+000	79,7	2.150	4,9	A
16	8+000	12+116	89,9	2.200	4,3	A
17	12+116	15+808	89,9	2.200	4,3	A
18	15+808	19+500	89,9	2.200	4,3	A
19	19+500	20+700	89,9	2.200	4,3	A
20	20+700	23+000	79,7	2.150	4,9	A
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental						
21	23+100	28+000	90,0	2.200	1,5	A
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental						
22	28+000	33+000	80,0	2.150	1,7	A
23	33+000	38+500	68,9	2.100	2,0	A
24	38+500	42+740	80,0	2.150	1,7	A
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental						

No.	PR inicial	PR final	Velocidad km/h	Capacidad ade/h/carril	Densidad ade/km/carril	Nivel de servicio, NS
25	66+902	69+650	89,7	2.200	6,3	B
26	69+650	74+200	89,7	2.200	6,3	B
27	74+200	76+800	89,7	2.200	6,3	B
28	76+800	78+300	89,7	2.200	6,3	B
29	78+300	83+200	89,7	2.200	6,3	B
30	83+200	89+200	79,3	2.150	7,1	B
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental						
31	89+200	92+000	79,4	2.150	6,4	A
32	92+000	95+000	89,7	2.200	5,7	A
33	95+000	98+500	89,7	2.200	5,7	A
34	98+500	102+000	89,7	2.200	5,7	A
35	102+000	102+750	89,7	2.200	5,7	A
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental						
36	0+000	3+600	89,9	2.200	4,3	A
37	3+600	4+800	89,9	2.200	4,3	A
38	4+800	7+800	79,7	2.150	4,8	A
39	7+800	10+000	79,7	2.150	4,8	A
40	10+000	12+225	89,9	2.200	4,3	A
41	12+225	14+200	89,9	2.200	4,3	A
42	14+200	19+500	89,9	2.200	4,3	A
43	19+500	20+700	89,9	2.200	4,3	A
44	20+700	23+000	67,0	2.100	5,7	A
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental						
45	23+000	26+500	90,0	2.200	1,5	A
46	26+500	28+000	90,0	2.200	1,5	A
47	28+000	32+140	90,0	2.200	1,5	A
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental						
48	32+140	36+800	90,0	2.200	1,5	A
49	36+800	42+740	90,0	2.200	1,5	A

Fuente: Elaboración propia

En referencia a la clasificación anterior, el proyecto presenta un nivel de servicio NS: B en el tramo Buga-Tuluá en los dos sentidos, y un nivel de servicio NS: A en el resto de los tramos.

6.1.6 Nivel de servicio en rampas de ascenso y descenso

Ante la situación planteada frente al hallazgo de las rampas de ascenso y descenso dentro de algunos sectores, se procedió a calcular su nivel de servicio, NS y, a compararlo con el nivel de servicio, NS, del sector donde se encuentran dichas rampas, como se registra en el anexo No. 5 y cuyo resumen se presenta en las tablas 6-9 y 6-10:

Tabla 6-9 Nivel de servicio, NS, en rampas de ascenso

No. Sector	Zona con rampa de ascenso		Flujo (ade/h/c)	Velocidad (km/h)	Densidad (ade/km/c)	Capacidad (ade/hora/carril)	NS Rampa	NS Sector
	PR inicial	PR final						
15	K5+515	K5+926	411	79,6	5,16	2150	A	A
16	K10+762	K11+525	412	89,9	4,59	2200	A	A
19	K19+954	K20+359	408	89,9	4,54	2200	A	A
22	K30+353	K31+025	148	90,0	1,64	2200	A	A

Fuente: Elaboración propia

De los datos anteriores se permite establecer que, el nivel de servicio, NS, sobre las rampas de ascenso no afecta el nivel de servicio, NS, de los sectores donde estas rampas se encuentran.

Tabla 6-10 Nivel de servicio, NS, en ramas de descenso

No. Sector	Zona con rampa de descenso		Flujo (ade/h/c)	Velocidad (km/h)	Densidad (ade/km/c)	Capacidad (ade/hora/carril)	NS Rampa	NS Sector
	PR inicial	PR final						
38	K5+515	K5+926	453	89,8	5,04	2200	A	A
40	K10+762	K11+525	426	89,8	4,74	2200	A	A
43	K19+954	K20+359	430	89,8	4,79	2200	A	A
47	K30+353	K31+025	150	90,0	1,67	2200	A	A

Fuente: Elaboración propia

Al igual que en las rampas de ascenso, los resultados demuestran que no se ve afectado el nivel de servicio, NS, de los sectores donde las rampas de descenso se encuentran.

6.2 Cálculo del nivel de servicio según manual HCM 2016

Es conocido que, la metodología adoptada para elaborar el Manual colombiano de carreteras multicarril es la planteada en el Capítulo 14 del Manual de Capacidad y Niveles de Servicio de Estados Unidos de América, adaptada a las condiciones de operación de Colombia. (INVIAS, 2022)

En efecto, teniendo en cuenta que para determinar el nivel de servicio, NS, las dos metodologías relacionadas definen los mismos pasos; se realizó el análisis de cada sector identificado bajo los criterios definidos en el Manual de Capacidad y Niveles de Servicio de Estados Unidos de América HCM2016, aplicando los factores de ajustes correspondientes como se explicará más adelante, con el fin de realizar la comparación de los niveles de servicio, NS, en cumplimiento de uno de los objetivos específicos del presente trabajo.

6.2.1 Paso 1 - Dividir el tramo en sectores

El resultado de la sectorización y la relación de la velocidad predominante en cada sector tomadas de la información de diseño geométrico de la vía, se presentan en la tabla 6-11:

Tabla 6-11 Sectorización y relación de velocidad predominante HCM2016

No. sector	PR inicial	PR final	Longitud (pies)	Señal de velocidad predominante millas/h
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental				
1	66+902	71+590	15.381	44
2	71+590	76+700	16.765	56
3	76+700	78+300	5.249	44
4	78+300	83+000	15.420	56
5	83+000	86+080	10.105	56
6	86+080	89+200	10.236	56
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental				
7	89+200	92+000	10.827	56
8	92+000	95+000	11.401	56
9	95+000	98+500	11.483	56
10	98+500	102+000	11.483	56
11	102+000	102+750	2.461	44
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental				
12	0+000	3+400	11.155	56
13	3+400	3+800	1.312	44
14	3+800	5+000	3.937	56
15	5+000	8+000	9.843	56

No. sector	PR inicial	PR final	Longitud (pies)	Señal de velocidad predominante millas/h
16	8+000	12+116	13.504	44
17	12+116	15+808	12.113	56
18	15+808	19+500	12.113	56
19	19+500	20+700	3.937	56
20	20+700	23+000	7.710	56
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental				
21	23+100	28+000	16.076	56
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental				
22	28+000	33+000	15.666	56
23	33+000	38+500	18.045	56
24	38+500	42+740	13.911	56
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental				
25	66+902	69+650	9.016	44
26	69+650	74+200	14.928	56
27	74+200	76+800	8.530	44
28	76+800	78+300	4.921	56
29	78+300	83+000	15.420	56
30	83+000	89+200	19.685	56
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental				
31	89+200	92+000	10.827	56
32	92+000	95+000	11.401	56
33	95+000	98+500	11.483	56
34	98+500	102+000	11.483	56
35	102+000	102+750	2.461	44
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental				
36	0+000	3+600	11.811	56
37	3+600	4+800	3.937	56
38	4+800	7+800	9.843	56
39	7+800	10+000	7.218	56
40	10+000	12+225	7.300	44
41	12+225	14+200	6.480	44
42	14+200	19+500	17.388	56
43	19+500	20+700	3.937	56
44	20+700	23+000	7.546	44
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental				
45	23+000	26+500	11.483	56
46	26+500	28+000	4.921	56
47	28+000	32+140	12.844	56
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental				
48	32+140	36+800	15.289	56
49	36+800	42+740	19.488	56

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Paso 2 - Asignar una velocidad a flujo libre base a cada sector, en millas/h

La velocidad a flujo libre base se puede medir directamente en la vía con radar si se cuenta con los recursos para hacerlo, también se puede adoptar la velocidad de diseño del sector sin tener en cuenta los efectos de anchos de carril, los despejes laterales, la densidad de puntos de acceso, el tipo de terreno y el tipo de separador; también se puede adoptar la velocidad límite o instalada más 5 millas/h, para límites de velocidad 50 millas/h y superior, y más 7 millas/h para límite de velocidad menor que 50 millas/h.

En el presente estudio se adoptó como velocidad a flujo libre base, la velocidad límite instalada más 5 millas/h en cada sector como se presentó en la tabla No.6-9 anterior.

Adicionalmente, con el apoyo del concesionario de la vía, se pudo realizar la medición con radar de velocidades a flujo libre en 19 de los 49 sectores identificados, con lo que se realizó el cálculo del nivel de servicio, NS, y se realizó una comparación de los resultados con los obtenidos analíticamente siguiendo el procedimiento indicado en la metodología del manual INVIAS 2022, cuyos resultados se presentan más adelante en el numeral 6.3.

6.2.3 Paso 3 - Ajustes de la velocidad a flujo libre base, por características de la vía

El HCM 2016 indica que para establecer la velocidad a flujo libre de cada sector se debe realizar el ajuste de acuerdo con las siguientes características de la vía: número de carriles en una dirección, ancho de carril en pies, despeje lateral derecho en pies, despeje lateral izquierdo (lado separador) en pies, densidad de puntos de acceso en puntos/milla, tipo de terreno y tipo de separador.

Los valores de las anteriores características se ajustaron como se explica a continuación:

6.2.3.1 *Ajuste por ancho de carril*

La condición base para el ancho del carril es de 12 pies o más. Cuando el ancho del carril promedio, a lo largo del sector, es menor que 12 pies, la velocidad a flujo libre (FFS) se ve afectada negativamente.

Los ajustes para reflejar el efecto de la reducción de ancho promedio de carril se presentan en la tabla No. 6-12:

Tabla 6-12 Ajustes por ancho de carril HCM2016

Ancho de carril, pies	Factor de reducción, millas/h
Mayor que 12	0.0
Mayor o igual que 11 y menor que 12	1.9
Mayor o igual que 10 y menor que 11	6.6

Fuente: (Transportation Research Board, 2016)

6.2.3.2 *Ajuste por despeje lateral*

El ajuste por despeje lateral, es decir, la distancia a obstáculos laterales en los sectores de la carretera se basa en el despeje lateral en el lado derecho de la vía y en el lado izquierdo (al lado del separador).

Los obstáculos laterales incluyen postes de luz, señales, árboles, estribos, barandas de puentes, barreras de tráfico y muros de contención. Los bordillos o sardineles normales no se consideran obstrucciones.

El despeje lateral del lado derecho se mide desde el borde derecho del carril lateral a la obstrucción continua o periódica más cercana a la carretera. Si tales obstrucciones están a más de 6 pies, desde el borde del pavimento, se toma el valor de 6 pies. El despeje lateral del lado izquierdo se mide desde el borde izquierdo de los carriles de circulación a una obstrucción continua o la periódica más cercana en el separador. Si tales obstrucciones están a más de 6 pies, desde el borde del pavimento, se utiliza un valor de 6 pies.

Se considera como despeje lateral total la suma de los despejes laterales derecho e izquierdo. (Transportation Research Board, 2016)

Para una carretera multicarril los factores de ajuste en función del despeje lateral total son los que se presentan en la tabla No. 6-13 a continuación:

Tabla 6-13 Ajuste por despeje lateral HCM2016

Despeje lateral total, pies	Factor de reducción,
12	0.0
10	0.4
8	0.9
6	1.3
4	1.8
2	3.6
0	5.4

Fuente: (Transportation Research Board, 2016)

6.2.3.3 Ajuste por densidad de puntos de acceso

El número de puntos de acceso por milla se determina dividiendo el número total de puntos de acceso en el lado derecho de la carretera, en el sentido de la marcha, entre la longitud del sector, en millas.

El número total de puntos de acceso identificados en cada uno de los sectores de la carretera Buga–Tuluá–La Paila–La Victoria, se relacionan en la tabla No. 6-15 en donde, además, se relacionan las demás características de la vía necesarias para el análisis del nivel de servicio, NS por la metodología HCM 2016.

El ajuste a la velocidad a flujo libre base para varios niveles de densidad de puntos de acceso como se relaciona en la tabla No. 6-14 a continuación:

Tabla 6-14 Ajuste por densidad de puntos de acceso HCM2016

Densidad de puntos de acceso Puntos de acceso/milla	Factor de reducción, millas/h
0	0.0
10	2.5
20	5.0
30	7.5
40 o más	10.0

Fuente: (Transportation Research Board, 2016)

6.2.3.4 Ajuste por tipo de separador

En el caso de la carretera Buga–Tuluá–La Paila–La Victoria, que cuenta con separador y da lugar a dos calzadas divididas, el factor de reducción, en todos los sectores, es 0.0.

La relación de las características identificadas se presenta en la tabla No. 6-15:

Tabla 6-15 Características de los sectores HCM2016

No. sector	PR inicial	PR final	Longitud (millas)	Velocidad a flujo libre base (millas/h)	No. de carriles	Ancho de carril (pies)	Despeje lateral derecho (pies)	Despeje lateral izquierdo separador (pies)	Densidad puntos de acceso (Punto/milla)	Tipo de terreno	Tipo de separador
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental											
1	66+902	71+590	2,9	51	2	12	6,2	2,0	3,43	Plano	Dividido
2	71+590	76+700	3,2	61	2	12	6,2	2,0	3,15	Plano	Dividido
3	76+700	78+300	1,0	51	2	12	6,2	2,6	2,01	Plano	Dividido
4	78+300	83+000	2,9	61	2	12	6,2	2,6	5,48	Plano	Dividido
5	83+000	86+080	1,9	61	2	12	6,2	2,6	7,31	Plano	Dividido
6	86+080	89+200	1,9	61	2	12	6,2	2,6	4,64	Plano	Dividido
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía											
7	89+200	92+000	2,1	61	2	12	5,2	1,3	1,95	Plano	Dividido
8	92+000	95+000	2,2	61	2	12	5,2	1,3	2,32	Plano	Dividido
9	95+000	98+500	2,2	61	2	12	6,2	3,0	2,30	Plano	Dividido
10	98+500	102+00	2,2	61	2	12	6,2	3,0	2,76	Plano	Dividido
11	102+00	102+75	0,5	44	2	12	10,8	2,0	6,44	Plano	Dividido
Tramo 3 – Andalucía – La Paila											
12	0+000	3+400	2,1	61	2	12	6,2	2,0	1,42	Plano	Dividido
13	3+400	3+800	0,2	51	2	12	6,2	2,0	8,03	Plano	Dividido
14	3+800	5+000	0,7	61	2	12	6,2	2,0	12,06	Plano	Dividido
15	5+000	8+000	1,9	61	2	12	3,9	1,6	2,15	Plano	Dividido
16	8+000	12+116	2,6	51	2	12	3,9	1,6	3,52	Plano	Dividido
17	12+116	15+808	2,3	61	2	12	4,3	1,6	2,18	Plano	Dividido
18	15+808	19+500	2,3	61	2	12	4,3	1,6	3,92	Plano	Dividido
19	19+500	20+700	0,7	61	2	12	7,9	1,6	1,34	Plano	Dividido
20	20+700	23+000	1,5	61	2	12	6,2	1,6	2,74	Plano	Dividido
Tramo 4 – La Paila – Zarzal											
21	23+100	28+000	3,0	61	2	12	5,9	1,6	0,66	Plano	Dividido
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria											

No. sector	PR inicial	PR final	Longitud (millas)	Velocidad a flujo libre base (millas/h)	No. de carriles	Ancho de carril (pies)	Despeje lateral derecho (pies)	Despeje lateral izquierdo separador (pies)	Densidad puntos de acceso (Punto/milla)	Tipo de terreno	Tipo de separador
22	28+000	33+000	3,0	61	2	12	3,3	1,6	1,01	Plano	Dividido
23	33+000	38+500	3,4	61	2	12	3,3	1,6	0,88	Plano	Dividido
24	38+500	42+740	2,6	61	2	12	3,3	1,6	1,14	Plano	Dividido
Tramo 6 – Buga – Tuluá											
25	66+902	69+650	1,7	51	2	12	6,6	3,3	4,68	Plano	Dividido
26	69+650	74+200	2,8	61	2	12	6,6	3,3	3,18	Plano	Dividido
27	74+200	76+800	1,6	51	2	12	6,6	3,3	4,33	Plano	Dividido
28	76+800	78+300	0,9	61	2	12	6,6	3,3	3,22	Plano	Dividido
29	78+300	83+000	2,9	61	2	12	6,6	3,3	2,63	Plano	Dividido
30	83+000	89+200	3,7	61	2	12	6,6	3,3	1,34	Plano	Dividido
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía											
31	89+200	92+000	2,1	61	2	12	4,6	1,6	1,95	Plano	Dividido
32	92+000	95+000	2,2	61	2	12	4,6	1,6	1,85	Plano	Dividido
33	95+000	98+500	2,2	61	2	12	4,6	1,6	1,84	Plano	Dividido
34	98+500	102+00	2,2	61	2	12	6,2	3,3	2,76	Plano	Dividido
35	102+00	102+75	0,5	51	2	12	9,2	1,6	4,29	Plano	Dividido
Tramo 8 – Andalucía – La Paila											
36	0+000	3+600	2,2	61	2	12	4,3	1,6	2,68	Plano	Dividido
37	3+600	4+800	0,7	61	2	12	6,2	3,0	1,34	Plano	Dividido
38	4+800	7+800	1,9	61	2	12	3,9	1,3	0,54	Plano	Dividido
39	7+800	10+000	1,4	61	2	12	5,9	3,3	0,73	Plano	Dividido
40	10+000	12+225	1,4	51	2	12	5,9	3,3	2,89	Plano	Dividido
41	12+225	14+200	1,2	38	2	12	6,2	1,6	4,89	Plano	Dividido
42	14+200	19+500	3,3	61	2	12	5,9	3,3	0,91	Plano	Dividido
43	19+500	20+700	0,7	61	2	12	4,6	1,3	0,00	Plano	Dividido
44	20+700	23+000	1,4	26	2	12	5,9	3,3	6,30	Plano	Dividido
Tramo 9 – La Paila – Zarzal											
45	23+000	26+500	2,2	61	2	12	5,9	2,0	0,00	Plano	Dividido
46	26+500	28+000	0,9	61	2	12	5,9	2,0	2,15	Plano	Dividido
47	28+000	32+140	2,4	61	2	12	5,9	2,0	1,23	Plano	Dividido
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria											
48	32+140	36+800	2,9	61	2	12	5,9	2,0	2,07	Plano	Dividido
49	36+800	42+740	3,7	61	2	12	5,9	1,3	0,81	Plano	Dividido

Fuente: Elaboración propia

6.2.4 Paso 4 - Determinar el flujo vehicular de la hora pico, en ade/h/carril

Para la determinación del flujo vehicular "q", se siguió el mismo procedimiento de la metodología INVIAS, y finalmente se ajustaron los resultados mediante la misma expresión:

$$q = \frac{V}{FHP \times N \times f_{vp} \times f_p} \quad (7)$$

Donde:

q: flujo vehicular ajustado, en ade/h/carril

V: flujo vehicular bajo condiciones prevalecientes, en veh/h

FHP: factor de hora pico (oscila entre 0,75 y 0,95)

N: número de carriles en una dirección

f_{vp} : factor de ajuste para vehículos pesados

f_p : ajuste por población de conductores

Los factores como el flujo vehicular bajo condiciones prevalecientes, el factor hora pico, el número de carriles en una dirección, el factor de ajuste por población de conductores o conocimiento de la vía, serán los mismos establecidos para el análisis por la metodología INVIAS; no obstante, se deberán hacer de acuerdo con los valores establecidos por la metodología HCM 2016, los ajustes por vehículos pesados y por tipo de terreno como se explica a continuación:

6.2.4.1 Ajuste para vehículos pesados

Se define como vehículo pesado cualquier vehículo con más de 4 llantas en el suelo, durante su operación normal. Por lo general, dichos vehículos se clasifican como camión, bus y vehículo recreativo.

En el caso de la carretera Buga–Tuluá–La Paila–La Victoria los camiones son un porcentaje alto, con una amplia variedad de vehículos, desde una sola unidad, camiones con neumáticos traseros dobles, a combinaciones de tractor-remolque de tres unidades;

los buses, que también tienen un porcentaje significativo, incluyen buses interurbanos, buses de transporte público, de turismo y los buses escolares.

Debido a que los buses son similares, en muchas maneras, a los camiones con una sola unidad, el HCM 2016 considera a ambos tipos de vehículos en una categoría.

Los vehículos recreativos incluyen desde automóviles pequeños a camiones con tráiler (para botes u otros artículos).

El factor de ajuste, f_{vp} , por vehículos pesados, se calcula con la siguiente expresión:

$$f_{vp} = \frac{1}{1 + P_c(E_c - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (8)$$

Donde:

f_{vp} : factor de ajuste para vehículos pesados

P_c : porcentaje de buses y camiones

E_c : automóviles directos equivalentes, ade, a un bus o camión

P_R : porcentaje de vehículos recreativos

E_R : automóviles directos equivalentes, ade, a un vehículo recreativo

6.2.4.2 Ajuste por tipo de terreno

En el HCM 2016 el ajuste por tipo de terreno para la determinación del número de automóviles directos equivalentes, ade, a un bus, o camión, o vehículo recreativo, consideran tres categorías de terreno (plano, ondulado, montañoso).

Como terreno plano se define cualquier combinación de pendiente y alineación horizontal o vertical que permite que los vehículos pesados mantengan la misma velocidad que los autos, por lo general, con pendientes no superiores al 2%; este es el caso de todos los sectores de la carretera Buga–Tuluá–La Paila–La Victoria, por lo que es el tipo de terreno considerado en el presente estudio.

Los valores de ajuste del HCM2016 son los que se presentan en la tabla No. 6-16:

Tabla 6-16 Automóviles directos equivalentes, ade, según el tipo de terreno HCM2016

Tipo de vehículo	Plano	Ondulado	Montañoso
Factor E_c , de buses y camiones	1.5	2.5	4.5
Factor E_R , de vehículos recreativos	1.2	2.0	4.0

Fuente: (Transportation Research Board, 2016)

El registro de los flujos vehiculares en la hora pico según la metodología del HCM 2016 con el respectivo porcentaje de vehículos pesados establecidos a partir de los datos de los aforos vehiculares suministrados por el Concesionario de la vía correspondientes a los peajes Betania y Uribe y, a las estaciones de conteo del INVIAS realizados en el tramo La Paila-Zarzal-La Victoria entre los meses de agosto de 2021 y julio de 2022, se relacionan en la siguiente tabla No. 6-17:

Tabla 6-17 Flujos vehiculares en la hora pico HCM 2016

No. sector	PR inicial	PR final	Flujo vehicular hora	Porcentaje de	Tipo de terreno
			pico*	Buses y Camiones	
			Veh/h	%	
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental					
1	66+902	71+590	845	34,2%	Plano
2	71+590	76+700	845	34,2%	Plano
3	76+700	78+300	845	34,2%	Plano
4	78+300	83+000	845	34,2%	Plano
5	83+000	86+080	845	34,2%	Plano
6	86+080	89+200	845	34,2%	Plano
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental					
7	89+200	92+000	760	34,2%	Plano
8	92+000	95+000	760	34,2%	Plano
9	95+000	98+500	760	34,2%	Plano
10	98+500	102+000	760	34,2%	Plano
11	102+000	102+750	760	34,2%	Plano
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental					
12	0+000	3+400	590	46,7%	Plano
13	3+400	3+800	590	46,7%	Plano
14	3+800	5+000	590	46,7%	Plano
15	5+000	8+000	590	46,7%	Plano
16	8+000	12+116	590	46,7%	Plano
17	12+116	15+808	590	46,7%	Plano

No. sector	PR inicial	PR final	Flujo vehicular hora	Porcentaje de	Tipo de terreno	
			pico*	Buses y Camiones		
			Veh/h	%		
18	15+808	19+500	590	46,7%	Plano	
19	19+500	20+700	590	46,7%	Plano	
20	20+700	23+000	590	46,7%	Plano	
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental						
21	23+100	28+000	236	31,0%	Plano	
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental						
22	28+000	33+000	236	31,0%	Plano	
23	33+000	38+500	236	31,0%	Plano	
24	38+500	42+740	236	31,0%	Plano	
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental						
25	66+902	69+650	885	39,9%	Plano	
26	69+650	74+200	885	39,9%	Plano	
27	74+200	76+800	885	39,9%	Plano	
28	76+800	78+300	885	39,9%	Plano	
29	78+300	83+000	885	39,9%	Plano	
30	83+000	89+200	885	39,9%	Plano	
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental						
31	89+200	92+000	795	39,9%	Plano	
32	92+000	95+000	795	39,9%	Plano	
33	95+000	98+500	795	39,9%	Plano	
34	98+500	102+000	795	39,9%	Plano	
35	102+000	102+750	795	39,9%	Plano	
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental						
36	0+000	3+600	585	46,5%	Plano	
37	3+600	4+800	585	46,5%	Plano	
38	4+800	7+800	585	46,5%	Plano	
39	7+800	10+000	585	46,5%	Plano	
40	10+000	12+225	585	46,5%	Plano	
41	12+225	14+200	585	46,5%	Plano	
42	14+200	19+500	585	46,5%	Plano	
43	19+500	20+700	585	46,5%	Plano	
44	20+700	23+000	585	46,5%	Plano	
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental						
45	23+000	26+500	234	31,0%	Plano	
46	26+500	28+000	234	31,0%	Plano	
47	28+000	32+140	234	31,0%	Plano	
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental						
48	32+140	36+800	234	31,0%	Plano	
49	36+800	42+740	234	31,0%	Plano	

Fuente: Elaboración propia

En resumen, los datos de entrada para el cálculo de la densidad y nivel de servicio, NS bajo la metodología del HCM 2016, se presentan en la tabla No. 6-18 a continuación:

Tabla 6-18 Datos para cálculo de la densidad y nivel de servicio HCM2016

No. sector	PR inicial	PR final	Velocidad a flujo libre base (millas/h)	Anchc carril (pies)	No. de carriles	Despeje lateral total (pies)	Densidad de puntos de acceso (puntos/mi lla)	Volumen vehicular (veh/h)	Factor hora pico FHP	Buses y camiones (%)	Tipo de terreno	Tipo de separador
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental												
1	66+902	71+590	51	12	2	8,0	3,43	845	0,9	34,2%	Plano	Dividido
2	71+590	76+700	61	12	2	8,0	3,15	845	0,9	34,2%	Plano	Dividido
3	76+700	78+300	51	12	2	8,6	2,01	845	0,9	34,2%	Plano	Dividido
4	78+300	83+000	61	12	2	8,6	5,48	845	0,9	34,2%	Plano	Dividido
5	83+000	86+080	61	12	2	8,6	7,31	845	0,9	34,2%	Plano	Dividido
6	86+080	89+200	61	12	2	8,6	4,64	845	0,9	34,2%	Plano	Dividido
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental												
7	89+200	92+000	61	12	2	6,6	1,95	760	0,9	34,2%	Plano	Dividido
8	92+000	95+000	61	12	2	6,6	2,32	760	0,9	34,2%	Plano	Dividido
9	95+000	98+500	61	12	2	9,0	2,30	760	0,9	34,2%	Plano	Dividido
10	98+500	102+000	61	12	2	9,0	2,76	760	0,9	34,2%	Plano	Dividido
11	102+000	102+750	51	12	2	8,0	6,44	760	0,9	34,2%	Plano	Dividido
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental												
12	0+000	3+400	61	12	2	8,0	1,42	590	0,9	46,7%	Plano	Dividido
13	3+400	3+800	51	12	2	8,0	8,03	590	0,9	46,7%	Plano	Dividido
14	3+800	5+000	61	12	2	8,0	12,06	590	0,9	46,7%	Plano	Dividido
15	5+000	8+000	61	12	2	5,6	2,15	590	0,9	46,7%	Plano	Dividido
16	8+000	12+116	51	12	2	5,6	3,52	590	0,9	46,7%	Plano	Dividido
17	12+116	15+808	61	12	2	5,9	2,18	590	0,9	46,7%	Plano	Dividido
18	15+808	19+500	61	12	2	5,9	3,92	590	0,9	46,7%	Plano	Dividido
19	19+500	20+700	61	12	2	7,6	1,34	590	0,9	46,7%	Plano	Dividido
20	20+700	23+000	61	12	2	7,6	2,74	590	0,9	46,7%	Plano	Dividido
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental												
21	23+100	28+000	61	12	2	7,5	0,66	236	0,9	31,0%	Plano	Dividido
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental												
22	28+000	33+000	61	12	2	4,9	1,01	236	0,9	31,0%	Plano	Dividido
23	33+000	38+500	61	12	2	4,9	0,88	236	0,9	31,0%	Plano	Dividido
24	38+500	42+740	61	12	2	4,9	1,14	236	0,9	31,0%	Plano	Dividido
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental												
25	66+902	69+650	51	12	2	9,3	4,68	885	0,9	39,9%	Plano	Dividido
26	69+650	74+200	61	12	2	9,3	3,18	885	0,9	39,9%	Plano	Dividido
27	74+200	76+800	51	12	2	9,3	4,33	885	0,9	39,9%	Plano	Dividido

No. sector	PR inicial	PR final	Velocidad a flujo libre base (millas/h)	Anchc carril (pies)	No. de carriles	Despeje lateral total (pies)	Densidad de puntos de acceso (puntos/mi lla)	Volumen vehicular (veh/h)	Factor hora pico FHP	Buses y camiones (%)	Tipo de terreno	Tipo de separador
28	76+800	78+300	61	12	2	9,3	3,22	885	0,9	39,9%	Plano	Dividido
29	78+300	83+000	61	12	2	9,3	2,63	885	0,9	39,9%	Plano	Dividido
30	83+000	89+200	61	12	2	9,3	1,34	885	0,9	39,9%	Plano	Dividido
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental												
31	89+200	92+000	61	12	2	6,2	1,95	795	0,9	39,9%	Plano	Dividido
32	92+000	95+000	61	12	2	6,2	1,85	795	0,9	39,9%	Plano	Dividido
33	95+000	98+500	61	12	2	6,2	1,84	795	0,9	39,9%	Plano	Dividido
34	98+500	102+000	61	12	2	9,3	2,76	795	0,9	39,9%	Plano	Dividido
35	102+000	102+750	51	12	2	7,6	4,29	795	0,9	39,9%	Plano	Dividido
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental												
36	0+000	3+600	61	12	2	7,6	2,68	585	0,9	46,5%	Plano	Dividido
37	3+600	4+800	61	12	2	9,0	1,34	585	0,9	46,5%	Plano	Dividido
38	4+800	7+800	61	12	2	5,2	0,54	585	0,9	46,5%	Plano	Dividido
39	7+800	10+000	61	12	2	9,2	0,73	585	0,9	46,5%	Plano	Dividido
40	10+000	12+225	51	12	2	9,2	2,89	585	0,9	46,5%	Plano	Dividido
41	12+225	14+200	51	12	2	7,6	4,89	585	0,9	46,5%	Plano	Dividido
42	14+200	19+500	61	12	2	9,2	0,91	585	0,9	46,5%	Plano	Dividido
43	19+500	20+700	61	12	2	5,9	0,00	585	0,9	46,5%	Plano	Dividido
44	20+700	23+000	51	12	2	9,2	6,30	585	0,9	46,5%	Plano	Dividido
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental												
45	23+000	26+500	61	12	2	7,9	0,00	234	0,9	31,0%	Plano	Dividido
46	26+500	28+000	61	12	2	7,9	2,15	234	0,9	31,0%	Plano	Dividido
47	28+000	32+140	61	12	2	7,9	1,23	234	0,9	31,0%	Plano	Dividido
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental												
48	32+140	36+800	61	12	2	7,9	2,07	234	0,9	31,0%	Plano	Dividido
49	36+800	42+740	61	12	2	7,2	0,81	234	0,9	31,0%	Plano	Dividido

Fuente: Elaboración propia

El nivel de servicio, NS, para cada sector, se calculó a partir de los datos presentados en las tablas anteriores, estableciendo previamente la siguiente información:

- Velocidad a flujo libre, VFL, en millas/h y en km/h
- Capacidad, en ade/h
- Densidad, en ade/milla/carril

6.2.4.3 Velocidad a flujo libre, VFL, en millas/h y en km/h

La velocidad a flujo libre se obtuvo restando a la velocidad a flujo libre base, VFLB, los ajustes por ancho de carril, despeje lateral, tipo de separador y densidad de puntos de acceso, así:

$$\text{VFL} = \text{VFLB} - \text{ajuste ancho carril} - \text{ajuste despeje lateral} - \text{ajuste tipo separador} - \text{ajuste densidad puntos de acceso}$$

6.2.4.4 Capacidad, en ade/h/carril

En función de la velocidad a flujo libre, VFL, la capacidad de la vía, en ade/h/carril, se determinó de acuerdo con la relación contenida en la siguiente tabla No. 6-19:

Tabla 6-19 Relación de la velocidad y la capacidad en ade/h/carril HCM2016

Velocidad a flujo libre, VFL		Capacidad (ade/h/carril)
millas/h	km/h	
60	96.5	2.200
55	88.5	2.100
50	80.5	2.000
45	72.5	1.900

Fuente: (Transportation Research Board, 2016)

6.2.4.5 Densidad, en ade/milla/carril

La densidad de cada uno de los sectores se determinó con la siguiente expresión:

$$D = \frac{q}{VFL} \quad (9)$$

Donde:

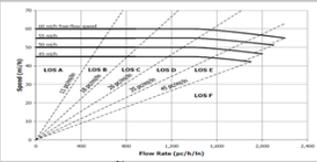
q: flujo vehicular ajustado, en ade/h/carril

VFL: velocidad a flujo libre, en millas/h

6.2.5 Paso 5 - Cálculo del nivel de servicio NS

Con los datos de entrada calculados, se determinó el nivel de servicio, NS, de los 49 sectores del proyecto mediante el uso de la una macro de Excel denominada "Capacidad y Niveles de Servicio Carreteras HCM", de la cual se presenta un ejemplo en la Figura 6-3 siguiente:

Figura 6-3 Ejemplo de cálculo de nivel de servicio, NS, sector No.1 HCM2016

CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO CARRETERAS MULTICARRIL HCM 2016																																													
Carretera:	Buga - Tuluá - La Paila - La Victoria																																												
Proyecto:	Estudio de Capacidad y Niveles de Servicio Tramo 1 Sector 1																																												
Analista:	Olmer Arias	Fecha (dd/mm/año): 16/01/2023																																											
VELOCIDAD A FLUJO LIBRE <input type="checkbox"/> Límite de Velocidad																																													
Tipo de Velocidad FFS:	BFFS	Valor Velocidad base (mi/h): 51,0																																											
Límite de Velocidad (mi/h):																																													
Valor sugerido de BFFS (mi/h):																																													
Tipo de separador:	Dividida, con o sin carriles de giro izquierdo	No de carriles por calzada: 2																																											
Ancho de carril (ft):	12	Espacio lateral libre (ft): 8																																											
		No accesos por milla: 3,43																																											
CALCULO DE VELOCIDAD A FLUJO LIBRE																																													
BFFS:	51,0	FFS Calculada: 49,3 Tomar FFS de: 50																																											
f_{LW} :	0,0																																												
f_{LC} :	0,9																																												
f_M :	0,0																																												
f_A :	0,8																																												
Ver Manual HCM 2010 Ver Manual HCM 2010 Español																																													
INFORMACION DE VEHICULOS																																													
Volumen (veh/h):	845	FHP: 0,90																																											
Terreno: (Ver instrucciones)	Plano	Información de rampas compuestas																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Porcentaje de Vehículos</th> <th>ET</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Buses y camiones</td> <td>34,2</td> </tr> <tr> <td>Recreacionales</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>f_{HW}</td> <td>0,854</td> </tr> <tr> <td>Tipo de conductor:</td> <td>Frecuente</td> </tr> <tr> <td>Flujo vehicular (v_p):</td> <td>550</td> </tr> <tr> <td></td> <td>f_p</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,0</td> </tr> </tbody> </table>		Porcentaje de Vehículos	ET	Buses y camiones	34,2	Recreacionales	0,0	f_{HW}	0,854	Tipo de conductor:	Frecuente	Flujo vehicular (v_p):	550		f_p		1,0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Segmento</th> <th>Longitud (ft)</th> <th>Pendiente (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>15381,0</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Longitud (ft):</td> <td>15381,0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Pendiente Ponderada (%):</td> <td>2,0</td> </tr> </tbody> </table>	Segmento	Longitud (ft)	Pendiente (%)	1	15381,0	2,0	2			3			4			5			6			Longitud (ft):		15381,0	Pendiente Ponderada (%):		2,0
Porcentaje de Vehículos	ET																																												
Buses y camiones	34,2																																												
Recreacionales	0,0																																												
f_{HW}	0,854																																												
Tipo de conductor:	Frecuente																																												
Flujo vehicular (v_p):	550																																												
	f_p																																												
	1,0																																												
Segmento	Longitud (ft)	Pendiente (%)																																											
1	15381,0	2,0																																											
2																																													
3																																													
4																																													
5																																													
6																																													
Longitud (ft):		15381,0																																											
Pendiente Ponderada (%):		2,0																																											
RESULTADOS																																													
Velocidad (mi/h):	50,0																																												
Densidad (pc/mi/ln):	11,0																																												
NIVEL DE SERVICIO:		A																																											

Fuente: Macro de Excel (Transportation Research Board, 2016)

De la figura anterior se deduce que, según el HCM2016 el sector No.1 entre el PR 66+902 y PR 71+590 del tramo No.1 Buga-Tuluá, presenta una densidad de 11,0 ade/km/carril para un nivel de servicio A.

Con los datos de entrada relacionados, se calcularon los resultados de los niveles de servicio, NS de los 49 sectores identificados en la carretera Buga-Tuluá-La Paila-La Victoria, mediante la metodología HCM 2016, los cuales se presentan en el anexo No.2 y en la siguiente tabla No. 6-20:

Tabla 6-20 Resultados del nivel de servicio NS según manual HCM2016

No. sector	PR inicial	PR final	Velocidad a flujo libre millas/h	Capacidad ade/h/carril	Densidad ade/mi/carril	Nivel de servicio, NS
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental						
1	66+902	71+590	50	2.000	11,0	A
2	71+590	76+700	60	2.200	9,2	A
3	76+700	78+300	50	2.000	11,0	A
4	78+300	83+000	60	2.200	9,2	A
5	83+000	86+080	60	2.200	9,2	A
6	86+080	89+200	60	2.200	9,2	A
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental						
7	89+200	92+000	60	2.200	8,2	A
8	92+000	95+000	60	2.200	8,2	A
9	95+000	98+500	60	2.200	8,2	A
10	98+500	102+000	60	2.200	8,2	A
11	102+000	102+750	50	2.000	9,9	A
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental						
12	0+000	3+400	60	2.200	6,7	A
13	3+400	3+800	50	2.000	8,1	A
14	3+800	5+000	55	2.100	7,4	A
15	5+000	8+000	60	2.200	6,7	A
16	8+000	12+116	50	2.000	8,1	A
17	12+116	15+808	60	2.200	6,7	A
18	15+808	19+500	60	2.200	6,7	A
19	19+500	20+700	60	2.200	6,7	A
20	20+700	23+000	60	2.200	6,7	A
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental						
21	23+100	28+000	60	2.200	2,5	A
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental						
22	28+000	33+000	60	2.200	2,5	A
23	33+000	38+500	60	2.200	2,5	A
24	38+500	42+740	60	2.200	2,5	A

No. sector	PR inicial	PR final	Velocidad a flujo libre millas/h	Capacidad ade/h/carril	Densidad ade/mi/carril	Nivel de servicio, NS
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental						
25	66+902	69+650	50	2.000	11,8	B
26	69+650	74+200	60	2.200	9,8	A
27	74+200	76+800	50	2.000	11,8	B
28	76+800	78+300	60	2.200	9,8	A
29	78+300	83+200	60	2.200	9,8	A
30	83+200	89+200	60	2.200	9,8	A
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental						
31	89+200	92+000	60	2.200	8,8	A
32	92+000	95+000	60	2.200	8,8	A
33	95+000	98+500	60	2.200	8,8	A
34	98+500	102+000	60	2.200	8,8	A
35	102+000	102+750	50	2.000	10,6	A
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental						
36	0+000	3+600	60	2.200	6,7	A
37	3+600	4+800	60	2.200	6,7	A
38	4+800	7+800	60	2.200	6,7	A
39	7+800	10+000	60	2.200	6,7	A
40	10+000	12+225	50	2.000	8,0	A
41	12+225	14+200	50	2.000	8,0	A
42	14+200	19+500	60	2.200	6,7	A
43	19+500	20+700	60	2.200	6,7	A
44	20+700	23+000	50	2.000	8,0	A
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental						
45	23+000	26+500	60	2.200	2,5	A
46	26+500	28+000	60	2.200	2,5	A
47	28+000	32+140	60	2.200	2,5	A
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental						
48	32+140	36+800	60	2.200	2,5	A
49	36+800	42+740	60	2.200	2,5	A

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados registrados en la tabla 6-20 anterior, al realizar el análisis según el HCM 2016 se encuentra que a excepción del sector No.25, el resto del proyecto presenta un nivel de servicio, NS: A.

6.3 Cálculo de nivel de servicio con velocidad a flujo libre VFL medida con radar

Con el interés de realizar una verificación de los resultados que se obtendrían al calcular el nivel de servicio, NS, a partir de la velocidad a flujo libre con radar, se logró coordinar con el apoyo del concesionario de la vía, la toma de velocidades con radar en 19 de los 49 sectores del proyecto de acuerdo con el procedimiento de muestreo y análisis establecido por el HCM2016; los registros de las mediciones y las memorias de cálculo de la VFL de cada sector se presentan en el anexo No.7.

Los resultados de la densidad y el nivel de servicio, NS, obtenido en los 19 sectores donde se midió VFL con radar se registran en la siguiente tabla No. 6-21:

Tabla 6-21 Nivel de servicio, NS, en sectores donde se midió velocidad con radar

No. sector	PR inicial	PR final	Flujo vehicular hora pico (ade/carril/h)	Velocidad a flujo libre (medida con radar) (km/h)	Densidad (ade/carril/km)	NS
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental						
3	76+700	78+300	542	99	5,5	A
4	78+300	83+000	542	92	5,9	A
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental						
8	92+000	95+000	487	105	4,6	A
9	95+000	98+500	487	100	4,9	A
13	3+400	3+800	389	92	4,2	A
16	8+000	12+116	389	91	4,3	A
21	23+100	26+010	139	109	1,3	A
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental						
22	28+000	33+000	139	107	1,3	A
24	38+500	42+740	139	99	1,4	A
27	74+200	76+800	565	93	6,1	B
28	76+800	78+300	565	91	6,2	B
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental						
32	92+000	95+000	508	94	5,4	A
34	98+500	102+000	508	94	5,4	A
38	4+800	7+800	384	89	4,3	A
41	12+225	14+200	384	92	4,2	A
44	20+700	23+000	384	66	5,8	A
45	23+000	26+500	137	99	1,4	A
48	32+140	36+800	137	100	1,4	A
49	36+800	42+740	137	101	1,4	A

Fuente: Elaboración propia

De los datos anteriores se puede deducir que, el nivel de servicio obtenido en su mayoría NS: A corresponde con las velocidades registradas con radar, las cuales, al obedecer con la percepción de comodidad de los usuarios, superan en promedio la velocidad genérica de cada sector.

La comparación del nivel de servicio obtenido a partir de la VFL medida con radar, con el NS calculado con base en la velocidad a flujo libre base ajustada por características de la vía según la metodología del HCM2016, de cual se incluyen las memorias de cálculo en el anexo No.8, se presenta a continuación en la tabla No.6-22:

Tabla 6-22 Comparativo entre NS con VFL con radar y velocidad ajustada HCM2016

No. sector	PR inicial	PR final	Densidad (ade/carril/km)	Nivel de Servicio NS	Densidad (ade/carril/km)	Nivel de Servicio NS
			(VL con geometría)		(VL con radar)	
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental						
3	76+700	78+300	6,0	B	5,5	A
4	78+300	83+000	6,0	B	5,9	A
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental						
8	92+000	95+000	5,4	A	4,6	A
9	95+000	98+500	5,4	A	4,9	A
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental						
13	3+400	3+800	4,3	A	4,2	A
16	8+000	12+116	4,9	A	4,3	A
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental						
21	23+100	26+010	1,5	A	1,3	A
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental						
22	28+000	33+000	1,7	A	1,3	A
24	38+500	42+740	1,7	A	1,4	A
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental						
27	74+200	76+800	6,3	B	6,1	B
28	76+800	78+300	6,3	B	6,2	B
Tramo 7 – Tuluá - Andalucía Occidental						
32	92+000	95+000	5,7	A	5,4	A
34	98+500	102+000	5,7	A	5,4	A
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental						
38	4+800	7+800	4,8	A	4,3	A
41	12+225	14+200	4,3	A	4,2	A
44	20+700	23+000	5,7	A	5,8	A
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental						
45	23+000	26+500	1,5	A	1,4	A
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental						
48	32+140	36+800	1,5	A	1,4	A
49	36+800	42+740	1,5	A	1,4	A

Fuente: Elaboración propia

Los niveles de servicio, NS obtenidos en la muestra de sectores analizados mediante velocidad a flujo libre medida con radar y los calculados con ajustes por las características geométricas de la vía son muy similares, sin embargo, se resalta que la velocidad ajustada puede resultar más objetiva para este tipo de estudios, teniendo en cuenta que las velocidades medidas por radar suelen tomarse a diferentes horas del día y la mayoría de conductores en la muestra, sobrepasaron los límites de velocidad legalmente establecidos en cada sector, lo que bajo otras circunstancias de geometría vial podría afectar los resultados.

6.4 Comparativo entre niveles de servicio, NS, obtenidos por INVIAS 2022 y por HCM 2016

Uno de los objetivos específicos del presente trabajo planteó la realización del comparativo entre los resultados obtenidos al aplicar los manuales de capacidad y nivel de servicio para vías multicarril INVIAS 2022 y HCM2016, es decir, los resultados obtenidos para un día normal, sin la incidencia de motos, sin aumento de tráfico en periodos estacionales; los resultados se presentan en la tabla No.6-23 a continuación:

Tabla 6-23 Comparativo de nivel de servicio, NS, por INVIAS 2022 Y HCM 2016

No. sector	PR inicial	PR final	Resultados manual INVIAS Multicarril 2022				Resultados manual HCM 2016			
			Velocidad a flujo libre km/h	Capacidad /h /carril	Densidad /km /carril	Nivel de servicio NS	Velocidad a flujo libre km/h	Capacidad /h /carril	Densidad /km /carril	Nivel de servicio, NS
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental										
1	66+902	71+590	89,7	2.200	6,0	B	80,5	2.000	6,8	A
2	71+590	76+700	89,7	2.200	6,0	B	96,6	2.200	5,7	A
3	76+700	78+300	89,7	2.200	6,0	B	80,5	2.000	6,8	A
4	78+300	83+000	89,7	2.200	6,0	B	96,6	2.200	5,7	A
5	83+000	86+080	89,7	2.200	6,0	B	96,6	2.200	5,7	A
6	86+080	89+200	79,4	2.150	6,8	B	96,6	2.200	5,7	A
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental										
7	89+200	92+000	79,5	2.150	6,1	A	96,6	2.200	5,1	A
8	92+000	95+000	89,8	2.200	5,4	A	96,6	2.200	5,1	A
9	95+000	98+500	89,8	2.200	5,4	A	96,6	2.200	5,1	A
10	98+500	102+000	79,5	2.150	6,1	A	96,6	2.200	5,1	A

No. sector	PR inicial	PR final	Resultados manual INVIAS Multicarril 2022				Resultados manual HCM 2016			
			Velocidad a flujo libre km/h	Capacidad /h /carril	Densidad /km /carril	Nivel de servicio NS	Velocidad a flujo libre km/h	Capacidad /h /carril	Densidad /km /carril	Nivel de servicio, NS
11	102+00 0	102+750	89,8	2.200	5,4	A	80,5	2.000	6,1	A
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental										
12	0+000	3+400	89,9	2.200	4,3	A	96,6	2.200	4,2	A
13	3+400	3+800	89,9	2.200	4,3	A	80,5	2.000	5,0	A
14	3+800	5+000	79,7	2.150	4,9	A	88,5	2.100	4,6	A
15	5+000	8+000	79,7	2.150	4,9	A	96,6	2.200	4,2	A
16	8+000	12+116	89,9	2.200	4,3	A	80,5	2.000	5,0	A
17	12+116	15+808	89,9	2.200	4,3	A	96,6	2.200	4,2	A
18	15+808	19+500	89,9	2.200	4,3	A	96,6	2.200	4,2	A
19	19+500	20+700	89,9	2.200	4,3	A	96,6	2.200	4,2	A
20	20+700	23+000	79,7	2.150	4,9	A	96,6	2.200	4,2	A
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental										
21	23+100	28+000	90	2.200	1,5	A	96,6	2.200	1,6	A
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental										
22	28+000	33+000	80	2.150	1,7	A	96,6	2.200	1,6	A
23	33+000	38+500	68,9	2.100	2	A	96,6	2.200	1,6	A
24	38+500	42+740	80	2.150	1,7	A	96,6	2.200	1,6	A
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental										
25	66+902	69+650	89,7	2.200	6,3	B	80,5	2.000	7,3	B
26	69+650	74+200	89,7	2.200	6,3	B	96,6	2.200	6,1	A
27	74+200	76+800	89,7	2.200	6,3	B	80,5	2.000	7,3	B
28	76+800	78+300	89,7	2.200	6,3	B	96,6	2.200	6,1	A
29	78+300	83+200	89,7	2.200	6,3	B	96,6	2.200	6,1	A
30	83+200	89+200	79,3	2.150	7,1	B	96,6	2.200	6,1	A
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental										
31	89+200	92+000	79,4	2.150	6,4	A	96,6	2.200	5,5	A
32	92+000	95+000	89,7	2.200	5,7	A	96,6	2.200	5,5	A
33	95+000	98+500	89,7	2.200	5,7	A	96,6	2.200	5,5	A
34	98+500	102+000	89,7	2.200	5,7	A	96,6	2.200	5,5	A
35	102+00 0	102+750	89,7	2.200	5,7	A	80,5	2.000	6,6	A
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental										
36	0+000	3+600	89,9	2.200	4,3	A	96,6	2.200	4,2	A
37	3+600	4+800	89,9	2.200	4,3	A	96,6	2.200	4,2	A
38	4+800	7+800	79,7	2.150	4,8	A	96,6	2.200	4,2	A
39	7+800	10+000	79,7	2.150	4,8	A	96,6	2.200	4,2	A
40	10+000	12+225	89,9	2.200	4,3	A	80,5	2.000	5,0	A

No. sector	PR inicial	PR final	Resultados manual INVIAS Multicarril 2022				Resultados manual HCM 2016			
			Velocidad a flujo libre km/h	Capacidad /h /carril	Densidad /km /carril	Nivel de servicio NS	Velocidad a flujo libre km/h	Capacidad /h /carril	Densidad /km /carril	Nivel de servicio, NS
41	12+225	14+200	89,9	2.200	4,3	A	80,5	2.000	5,0	A
42	14+200	19+500	89,9	2.200	4,3	A	96,6	2.200	4,2	A
43	19+500	20+700	89,9	2.200	4,3	A	96,6	2.200	4,2	A
44	20+700	23+000	67	2.100	5,7	A	80,5	2.000	5,0	A
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental										
45	23+000	26+500	90	2.200	1,5	A	96,6	2.200	1,6	A
46	26+500	28+000	90	2.200	1,5	A	96,6	2.200	1,6	A
47	28+000	32+140	90	2.200	1,5	A	96,6	2.200	1,6	A
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental										
48	32+140	36+800	90	2.200	1,5	A	96,6	2.200	1,6	A
49	36+800	42+740	90	2.200	1,5	A	96,6	2.200	1,6	A

Fuente: Elaboración propia

El comparativo de resultados del nivel de servicio, NS, presenta una notoria diferencia en el tramo Buga-Tuluá en ambos sentidos, registrando **NS: B** por INVIAS 2022 y **NS: A** por HCM 2016, situación que claramente corresponde a las diferencias entre los rangos de la densidad para asignar un nivel de servicio, NS: A, en donde INVIAS 2022 define un rango de $>0-11$ ade/milla/carril y HCM 2016 un rango de ≤ 6 para todos los tipos de vías multicarril. Los demás tramos en su mayoría tuvieron el mismo nivel de servicio, **NS: A**, situación favorable para la actualidad del proyecto.

6.5 Cálculo del nivel de servicio bajo la influencia de motocicletas y en estacionalidades

En cumplimiento de lo indicado en el numeral 5.8 de la metodología del presente trabajo, se realizó el análisis del nivel de nivel de servicio, NS, de cada sector bajo la influencia de las siguientes condiciones adicionales:

- La influencia de la participación del flujo de motocicletas
- La influencia de la participación de tráfico en periodos estacionales (navidad, año nuevo, Semana Santa, vacaciones de mitad de año).

El análisis se hizo para el método INVIAS 2022 con el fin de identificar si la participación de las motocicletas en el flujo vehicular y los aumentos de tráfico en periodos

estacionales, al ser una realidad de las carreteras colombianas, genera algún efecto sobre el nivel de servicio, NS, obtenido; por lo que solamente se modificaron los datos de entrada para cálculo del nivel de servicio, NS, en la macro de Excel INVIAS 2022, relacionados con el volumen vehicular en cada sector como se registra en las memorias de cálculo contenidas en el anexo No.1.

6.5.1 Efectos de la presencia de motocicletas sobre el nivel de servicio, NS.

La inclusión de motocicletas como un automóvil directo equivalente (ade) para efectos del presente trabajo, se justifica en lo establecido por el numeral 1, del artículo 96 de la Ley 1239 del 25 de julio de 2008 que define: *“Artículo 96: Normas específicas para motocicletas, motociclos y mototricilos, Las motocicletas se sujetarán a las siguientes normas específicas: 1. Deben transitar ocupando un carril, observando lo dispuesto en los artículos 60 y 68 del presente Código”...* (Congreso de Colombia, 2008)

Así las cosas, y de acuerdo con lo reflejado en la red vial nacional de Colombia, es viable asumir que una moto es equivalente a 1.0 ade (automóvil directo equivalente), por lo que este ha sido el factor asumido para la realización de este trabajo.

De acuerdo con los registros del flujo de motocicletas registrados en las estaciones de peaje Betania y Uribe entre junio de 2021 y julio de 2022, los máximos flujos horarios de motos son los que se relacionan en la siguiente tabla No. 6-24:

Tabla 6-24 Flujo máximo horario de motocicletas

Estación de peaje	Tramo	Carril Norte-Sur motos/hora	Carril Sur-Norte motos/hora
Betania	Buga-Andalucía	341	288
Uribe	Andalucía-La Victoria	91	120

Fuente: Elaboración propia

6.5.2 Cálculo del nivel de servicio, NS, con la incidencia de motocicletas

Según se ha indicado, se procedió a calcular el de servicio, NS, por método INVIAS 2022 con presencia de flujo vehicular de motos, comparándolo con el resultado de los días normales (sin motos), como se presentan la tabla No. 6-25:

Tabla 6-25 Nivel de servicio con la incidencia del flujo vehicular de motos

No. sector	PR inicial	PR final	Flujo vehicular hora pico sin motos (ade/carril/h)	Flujo de motos hora pico (ade/carril/h)	Flujo vehicular total hora pico con motos (ade/carril/h)	Velocidad a flujo libre (km/h)	Densidad con motos (ade/carril/km)	NS sin motos	NS con motos
Tramo 1 – Buga – Tuluá - Oriental									
1	66+902	71+590	542	251	793	89,0	8,9	B	B
2	71+590	76+700	542	251	793	89,0	8,9	B	B
3	76+700	78+300	542	251	793	89,0	8,9	B	B
4	78+300	83+000	542	251	793	89,0	8,9	B	B
5	83+000	86+080	542	251	793	89,0	8,9	B	B
6	86+080	89+200	542	251	793	78,4	10,1	B	B
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental									
7	89+200	92+000	487	225	712	78,7	9,1	A	B
8	92+000	95+000	487	225	712	89,2	8,0	A	B
9	95+000	98+500	487	225	712	89,2	8,0	A	B
10	98+500	102+000	487	225	712	78,7	9,1	A	B
11	102+000	102+750	487	225	712	89,2	9,1	A	B
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental									
12	0+000	3+400	389	151	540	89,6	6,0	A	B
13	3+400	3+800	389	151	540	89,6	6,0	A	B
14	3+800	5+000	389	151	540	79,3	6,8	A	A
15	5+000	8+000	389	151	540	79,3	6,8	A	A
16	8+000	12+116	389	151	540	89,6	6,0	A	B
17	12+116	15+808	389	151	540	89,6	6,0	A	B
18	15+808	19+500	389	151	540	89,6	6,0	A	B
19	19+500	20+700	389	151	540	89,6	6,0	A	B
20	20+700	23+000	389	151	540	79,3	6,8	A	A
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental									
21	23+100	28+000	139	60	199	90,0	2,2	A	A
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental									
22	28+000	33+000	139	60	199	79,9	2,5	A	A
23	33+000	38+500	139	60	199	68,4	2,9	A	A

No. sector	PR inicial	PR final	Flujo vehicular hora pico sin motos (ade/carril/h)	Flujo de motos hora pico (ade/carril/h)	Flujo vehicular total hora pico con motos (ade/carril/h)	Velocidad a flujo libre (km/h)	Densidad con motos (ade/carril/km)	NS sin motos	NS con motos
24	38+500	42+740	139	60	199	79,9	2,5	A	A
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental									
25	66+902	69+650	565	283	848	88,8	9,5	B	B
26	69+650	74+200	565	283	848	88,8	9,5	B	B
27	74+200	76+800	565	283	848	88,8	9,5	B	B
28	76+800	78+300	565	283	848	88,8	9,5	B	B
29	78+300	83+200	565	283	848	88,8	9,5	B	B
30	83+200	89+200	565	283	848	78,1	10,9	B	B
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental									
31	89+200	92+000	508	255	763	78,5	9,7	A	B
32	92+000	95+000	508	255	763	89,1	8,6	A	B
33	95+000	98+500	508	255	763	89,1	8,6	A	B
34	98+500	102+000	508	255	763	89,1	8,6	A	B
35	102+000	102+750	508	255	763	89,1	8,6	A	B
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental									
36	0+000	3+600	384	229	613	89,5	6,8	A	B
37	3+600	4+800	384	229	613	89,5	6,8	A	B
38	4+800	7+800	384	229	613	79,0	7,8	A	B
39	7+800	10+000	384	229	613	79,0	7,8	A	B
40	10+000	12+225	384	229	613	89,5	6,8	A	B
41	12+225	14+200	384	229	613	89,5	6,8	A	B
42	14+200	19+500	384	229	613	89,5	6,8	A	B
43	19+500	20+700	384	229	613	89,5	6,8	A	B
44	20+700	23+000	384	229	613	64,6	9,5	A	B
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental									
45	23+000	26+500	137	92	229	90,0	2,5	A	A
46	26+500	28+000	137	92	229	90,0	2,5	A	A
47	28+000	32+140	137	92	229	90,0	2,5	A	A
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental									
48	32+140	36+800	137	92	229	90,0	2,5	A	A
49	36+800	42+740	137	92	229	90,0	2,5	A	A

Fuente: Elaboración propia

Los resultados demuestran que, con la presencia de flujo vehicular de motos, en todos los sectores del tramo Buga-Tuluá se mantiene el nivel de servicio NS: B, aunque con un incremento de la densidad; en el tramo Tuluá-Andalucía y Andalucía-La Paila se presenta una afectación pasando del nivel de servicio NS: A a NS: B y, en el tramo La Paila-la Victoria el nivel de servicio se mantiene en NS: A.

6.5.3 Nivel de servicio, NS, en períodos estacionales

De acuerdo con las estadísticas de flujos vehiculares de las estaciones de peaje Betania y Uribe, los períodos estacionales ocurridos entre junio de 2021 y julio de 2022, con flujos mayores que los de un día normal del año son: año nuevo, puente de reyes, Semana Santa, vacaciones de mitad de año y navidad.

En línea con lo anterior, las fechas de inicio y terminación de cada uno de los períodos estacionales antes referidos, con el correspondiente flujo vehicular de la hora pico, incluyendo el flujo de motos, medidos en los peajes Betania y La Uribe, se relacionan a continuación en la tabla 6-26:

Tabla 6-26 Periodos estacionales y flujos vehiculares año 2021 a 2022

Periodo estacional	Fecha		Máximo flujo vehicular en el periodo (ade/carril/h)			
	Inicio	Terminación	Estación Betania		Estación La Uribe	
			SN	NS	SN	NS
Año Nuevo	Enero 02	Enero 04	1.258 (1.357)		1.030 (1.075)	
Puente de Reyes	Enero 08	Enero 10	1.853 (1.089)		1.425 (973)	
Semana Santa	Abril 13	Abril 17	2.071 (1.583)		1.647 (1.155)	
Vacaciones Mitad de Año	Junio 25	Junio 27	1.719 (1.228)		1.577 (963)	
Navidad	Diciembre 23	Diciembre 25	2.087 (989)		839 (722)	

Fuente: Elaboración propia

Para cada uno de los períodos anteriores, y para cada uno de los 49 sectores del proyecto, se obtuvo el correspondiente flujo vehicular de la hora pico, incluyendo motocicletas, en un día típico del periodo comprendido entre junio de 2021 y julio de 2022.

Posteriormente se calculó el nivel de servicio, NS, de cada sector en los periodos estacionales indicados obteniendo los resultados que se relacionan en la tabla No. 6-27 a continuación:

Tabla 6-27 Flujo vehicular y nivel de servicio (NS) en periodos estacionales

No. sector	PR inicial	PR final	Flujo vehicular (ade/carril/h) *					Nivel de servicio				
			Año Nuevo	Puente Reyes	Semana Santa	Mitad de año	Navidad	Año Nuevo	Puente Reyes	Semana Santa	Mitad de año	Navidad
Tramo 1 – Buga – Tuluá - Oriental												
1	66+902	71+590	1.258	1.853	2.071	1.719	2.087	C	D	E	D	E
2	71+590	76+700	1.258	1.853	2.071	1.719	2.087	C	D	E	D	E
3	76+700	78+300	1.258	1.853	2.071	1.719	2.087	C	D	E	D	E
4	78+300	83+000	1.258	1.853	2.071	1.719	2.087	C	D	E	D	E
5	83+000	86+080	1.258	1.853	2.071	1.719	2.087	C	D	E	D	E
6	86+080	89+200	1.258	1.853	2.071	1.719	2.087	C	D	E	D	E
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental												
7	89+200	92+000	1.131	1.666	1.863	1.547	1.877	C	D	E	D	E
8	92+000	95+000	1.131	1.666	1.863	1.547	1.877	C	D	D	D	E
9	95+000	98+500	1.131	1.666	1.863	1.547	1.877	C	D	D	D	E
10	98+500	102+000	1.131	1.666	1.863	1.547	1.877	C	D	E	D	E
11	102+000	102+750	1.131	1.666	1.863	1.547	1.877	C	D	D	D	E
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental												
12	0+000	3+400	1.030	1.425	1.647	1.577	839	C	D	D	D	B
13	3+400	3+800	1.030	1.425	1.647	1.577	839	C	D	D	D	B
14	3+800	5+000	1.030	1.425	1.647	1.577	839	C	D	D	D	B
15	5+000	8+000	1.030	1.425	1.647	1.577	839	C	D	D	D	B
16	8+000	12+116	1.030	1.425	1.647	1.577	839	C	D	D	D	B
17	12+116	15+808	1.030	1.425	1.647	1.577	839	C	D	D	D	B
18	15+808	19+500	1.030	1.425	1.647	1.577	839	C	D	D	D	B
19	19+500	20+700	1.030	1.425	1.647	1.577	839	C	D	D	D	B
20	20+700	23+000	1.030	1.425	1.647	1.577	839	C	D	D	D	B
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental												
21	23+100	28+000	406	564	646	622	324	A	B	B	B	A
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental												
22	28+000	33+000	406	564	646	622	324	A	B	B	B	A
23	33+000	38+500	406	564	646	622	324	A	B	B	B	A
24	38+500	42+740	406	564	646	622	324	A	B	B	B	A
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental												
25	66+902	69+650	1.357	1.089	1.583	1.228	989	C	C	D	C	C
26	69+650	74+200	1.357	1.089	1.583	1.228	989	C	C	D	C	C
27	74+200	76+800	1.357	1.089	1.583	1.228	989	C	C	D	C	C

No. sector	PR inicial	PR final	Flujo vehicular (ade/carril/h) *					Nivel de servicio				
			Año Nuevo	Puente Reyes	Semana Santa	Mitad de año	Navidad	Año Nuevo	Puente Reyes	Semana Santa	Mitad de año	Navidad
28	76+800	78+300	1.357	1.089	1.583	1.228	989	C	C	D	C	C
29	78+300	83+200	1.357	1.089	1.583	1.228	989	C	C	D	C	C
30	83+200	89+200	1.357	1.089	1.583	1.228	989	C	C	D	C	C
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental												
31	89+200	92+000	1.222	981	1.425	1.106	890	C	C	D	C	B
32	92+000	95+000	1.222	981	1.425	1.106	890	C	B	D	C	B
33	95+000	98+500	1.222	981	1.425	1.106	890	C	B	D	C	B
34	98+500	102+000	1.222	981	1.425	1.106	890	C	B	D	C	B
35	102+000	102+750	1.222	981	1.425	1.106	890	C	B	D	C	B
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental												
36	0+000	3+600	1.075	973	1.155	963	722	C	B	C	B	B
37	3+600	4+800	1.075	973	1.155	963	722	C	B	C	B	B
38	4+800	7+800	1.075	973	1.155	963	722	C	C	C	C	B
39	7+800	10+000	1.075	973	1.155	963	722	C	C	C	C	B
40	10+000	12+225	1.075	973	1.155	963	722	C	B	C	B	B
41	12+225	14+200	1.075	973	1.155	963	722	C	B	C	B	B
42	14+200	19+500	1.075	973	1.155	963	722	C	B	C	B	B
43	19+500	20+700	1.075	973	1.155	963	722	C	B	C	B	B
44	20+700	23+000	1.075	973	1.155	963	722	C	C	C	C	B
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental												
45	23+000	26+500	429	387	462	383	280	A	A	A	A	A
46	26+500	28+000	429	387	462	383	280	A	A	A	A	A
47	28+000	32+140	429	387	462	383	280	A	A	A	A	A
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental												
48	32+140	36+800	429	387	462	383	280	A	A	A	A	A
49	36+800	42+740	429	387	462	383	280	A	A	A	A	A

Fuente: Elaboración propia

Los resultados anteriores permiten evidenciar que en los periodos estacionales o temporadas especiales de tráfico, los sectores que conforman los tramos Buga–Tuluá y Tuluá–Andalucía operaron a niveles de servicio NS: C y NS: E, siendo “E” el nivel de servicio a capacidad.

6.5.4 Comparativo entre el NS en día promedio y en periodos estacionales

Otro análisis fue el comparativo del nivel de servicio, NS, de operación de cada uno de los sectores de la carretera Buga–Tuluá–La Paila–La Victoria en la hora pico de un día promedio normal y en un día de cada uno de los periodos estacionales (año nuevo, puente de Reyes, vacaciones de mitad de año y navidad), como se encuentra en el anexo No.1 y se presenta en la siguiente tabla No.6-28:

Tabla 6-28 Comparativo del nivel de servicio en día promedio y periodos estacionales

No. secto	PR inicial	PR final	Nivel de Servicio, NS							
			Día promedio		Periodos estacionales (Incluido flujo de motocicletas)					
			Sin Motos	Con Motos	Año Nuevo	Puente de	Semana Santa	Vacaciones mitad de año	Navidad	
Tramo 1 – Buga – Tuluá - Oriental										
1	66+902	71+590	B	B	C	D	E	D	E	
2	71+590	76+700	B	B	C	D	E	D	E	
3	76+700	78+300	B	B	C	D	E	D	E	
4	78+300	83+000	B	B	C	D	E	D	E	
5	83+000	86+080	B	B	C	D	E	D	E	
6	86+080	89+200	B	B	C	D	E	D	E	
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental										
7	89+200	92+000	A	B	C	D	E	D	E	
8	92+000	95+000	A	B	C	D	D	D	E	
9	95+000	98+500	A	B	C	D	D	D	E	
10	98+500	102+000	A	B	C	D	E	D	E	
11	102+000	102+750	A	B	C	D	D	D	E	
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental										
12	0+000	3+400	A	B	C	D	D	D	B	
13	3+400	3+800	A	B	C	D	D	D	B	
14	3+800	5+000	A	A	C	D	D	D	B	
15	5+000	8+000	A	A	C	D	D	D	B	
16	8+000	12+116	A	B	C	D	D	D	B	
17	12+116	15+808	A	B	C	D	D	D	B	
18	15+808	19+500	A	B	C	D	D	D	B	
19	19+500	20+700	A	B	C	D	D	D	B	
20	20+700	23+000	A	A	C	D	D	D	B	
Tramo 4 – La Paila – Zarzal Oriental										
21	23+100	28+000	A	A	A	B	B	B	A	
Tramo 5 – Zarzal – La Victoria Oriental										
22	28+000	33+000	A	A	A	B	B	B	A	
23	33+000	38+500	A	A	A	B	B	B	A	

No. secto	PR inicial	PR final	Nivel de Servicio, NS						
			Día promedio		Periodos estacionales (Incluido flujo de motocicletas)				
			Sin Motos	Con Motos	Año Nuevo	Puente de	Semana Santa	Vacaciones nitad de año	Navidad
24	38+500	42+740	A	A	A	B	B	B	A
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental									
25	66+902	69+650	B	B	C	C	D	C	C
26	69+650	74+200	B	B	C	C	D	C	C
27	74+200	76+800	B	B	C	C	D	C	C
28	76+800	78+300	B	B	C	C	D	C	C
29	78+300	83+200	B	B	C	C	D	C	C
30	83+200	89+200	B	B	C	C	D	C	C
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental									
31	89+200	92+000	A	B	C	C	D	C	B
32	92+000	95+000	A	B	C	B	D	C	B
33	95+000	98+500	A	B	C	B	D	C	B
34	98+500	102+000	A	B	C	B	D	C	B
35	102+000	102+750	A	B	C	B	D	C	B
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental									
36	0+000	3+600	A	B	C	B	C	B	B
37	3+600	4+800	A	B	C	B	C	B	B
38	4+800	7+800	A	B	C	C	C	C	B
39	7+800	10+000	A	B	C	C	C	C	B
40	10+000	12+225	A	B	C	B	C	B	B
41	12+225	14+200	A	B	C	B	C	B	B
42	14+200	19+500	A	B	C	B	C	B	B
43	19+500	20+700	A	B	C	B	C	B	B
44	20+700	23+000	A	B	C	C	C	C	B
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental									
45	23+000	26+500	A	A	A	A	A	A	A
46	26+500	28+000	A	A	A	A	A	A	A
47	28+000	32+140	A	A	A	A	A	A	A
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental									
48	32+140	36+800	A	A	A	A	A	A	A
49	36+800	42+740	A	A	A	A	A	A	A

Fuente: Elaboración propia

Los datos anteriores ratifican que, en cada uno de los períodos estacionales o fechas especiales de tráfico los tramos Buga–Tuluá, Tuluá–Andalucía y Andalucía-La Paila en la hora pico, operan con niveles de servicio por encima de los que tienen en un día promedio típico del año. El tramo Buga-Tuluá presenta la condición más crítica en la Semana Santa y en Navidad registrando un nivel de servicio NS: E.

6.5.5 Balance de los resultados

Hasta este punto se presentó el cumplimiento de los primeros tres objetivos específicos del trabajo a saber:

- Realizar la sectorización de la vía objeto de estudio mediante el análisis de las características geométricas y operativas, de donde se definieron 49 sectores.
- Determinar la capacidad y nivel de servicio de cada sector mediante las metodologías para vía multicarril del Invias 2022 y la metodología del Highway Capacity Manual 2016 del Transportation Research Board TRB de los Estados Unidos. En este punto se realizó el análisis adicional de la incidencia del flujo de motocicletas y de los incrementos de tráfico en periodos estacionales.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos al aplicar ambas metodologías, de donde se puede establecer que la metodología INVIAS resulta ser más exigente en sus rangos de densidad para determinar el nivel de servicio, NS.

En el capítulo siguiente se atiende lo propuesto en el objetivo específico relacionado con definir posibles alternativas de solución para mejorar el nivel de servicio en los sectores que lo ameriten, adicionalmente se realizó un pronóstico del nivel de servicio futuro para la vía bajo las condiciones actuales de diseño y la influencia del posible crecimiento de tráfico proyectado.

7. Pronóstico de nivel de servicio futuro y modelación de opciones de mejora

7.1 Pronósticos de nivel de servicio, NS

De acuerdo con lo presentado en la tabla No.6-25, el máximo flujo vehicular (motos, automóviles, buses y camiones) registrado en periodos ordinarios es de 898 ade/hora/carril, con ocurrencia en sectores del tramo Buga–Tuluá occidental, asimismo tanto el tramo Buga-Tuluá como el tramo Tuluá-Andalucía presentan densidades entre

8,0 y 10,9 ade/carril/km, lo que hace que la carretera en dichos tramos en la hora pico opere a un nivel de servicio, NS: B.

A partir de los datos anteriores se realizó el pronóstico para estimar en cuantos años, los niveles de servicio, NS, actuales podrían desmejorar, para ello se consideraron distintas tasas de crecimiento del flujo vehicular (2,5%, 3,0% y 3,5%), rango de crecimiento informado por la Gerencia de Operaciones del concesionario de la vía, Proyectos de Infraestructura SAS-PISA.

El pronóstico del Nivel de Servicio, NS, en cada uno de los sectores de la Carretera Buga – Tuluá – La Paila – La Victoria, para distintas tasas de crecimiento anual del flujo vehicular (2,5%, 3% y 3,5%) y dentro de 5, 10 y 15 años, respectivamente, se encuentra en el anexo No.6 y se presenta en la siguiente tabla No.7-1:

Tabla 7-1 Pronóstico del nivel de servicio, NS, a 5, 10 y 15 años

No. sector	PR inicial	PR final	FVHP 2022 (ade/carril/h)	VFL (km/)	Densidad 2022	NS 2022	Pronóstico del NS a 5, 10 y 15 años, para tasa anual de crecimiento del tránsito vehicular											
							2,5% anual			3% anual			3,5% anual					
							5	10	15	5	10	15	5	10	15			
Tramo 1 – Buga – Tuluá Oriental																		
1	66+902	71+590	793	89,0	8,9	B	B	C	C	B	C	C	B	C	C			
2	71+590	76+700	793	89,0	8,9	B	B	C	C	B	C	C	B	C	C			
3	76+700	78+300	793	89,0	8,9	B	B	C	C	B	C	C	B	C	C			
4	78+300	83+000	793	89,0	8,9	B	B	C	C	B	C	C	B	C	C			
5	83+000	86+080	793	89,0	8,9	B	B	C	C	B	C	C	B	C	C			
6	86+080	89+200	793	78,4	10,1	B	B	C	C	B	C	C	C	C	C			
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental																		
7	89+200	92+000	712	78,7	9,1	B	B	B	C	B	C	C	B	C	C			
8	92+000	95+000	712	89,2	8,0	B	B	B	C	B	B	C	B	C	C			
9	95+000	98+500	712	89,2	8,0	B	B	B	C	B	B	C	B	C	C			
10	98+500	102+000	712	78,7	9,1	B	B	B	C	B	C	C	B	C	C			
11	102+000	102+750	712	89,2	8,0	B	B	B	C	B	B	C	B	C	C			
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Orienta																		
12	0+000	3+400	540	89,6	6,0	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B			
13	3+400	3+800	540	89,6	6,0	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B			
14	3+800	5+000	540	79,3	6,8	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B			

No. sector	PR inicial	PR final	FVHP 2022 (ade/carril/h)	VFL (km/)	Densidad 2022	NS 2022	Pronóstico del NS a 5, 10 y 15 años, para tasa anual de crecimiento del tránsito vehicular									
							2,5% anual			3% anual			3,5% anual			
							5	10	15	5	10	15	5	10	15	
41	12+225	14+200	613	89,5	6,8	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C
42	14+200	19+500	613	89,5	6,8	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C
43	19+500	20+700	613	89,5	6,8	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C
44	20+700	23+000	613	64,6	9,5	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C
Tramo 9 – La Paila – Zarzal Occidental																
45	23+000	26+500	229	90,0	2,5	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
46	26+500	28+000	229	90,0	2,5	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
47	28+000	32+140	229	90,0	2,5	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Tramo 10 – Zarzal – La Victoria Occidental																
48	32+140	36+800	229	90,0	2,5	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
49	36+800	42+740	229	90,0	2,5	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

*Incluye flujo de motocicletas

Fuente: Elaboración propia

El pronóstico anterior refleja que con el crecimiento de tráfico proyectado a partir del actual incluyendo el flujo de motocicletas, el trayecto Buga-La Paila con un incremento mínimo del 2.5% del tráfico anual tiene tendencia al detrimento del nivel de servicio, NS, en 10 años pasando de NS: B a NS: C; por el trayecto La Paila-La Victoria mantiene su nivel de servicio, NS: A.

7.2 Modelación de carriles para volver al nivel de servicio, NS, 'A'

Con el propósito de justificar las recomendaciones para mejorar el nivel de servicio de la vía en los sectores que lo ameriten, se realizó el ejercicio de cálculo del nivel de servicio, NS, asumiendo la adición de 2, 3 y 4, carriles, procediendo de la siguiente manera:

- Se tomó como dato base el flujo vehicular total (ade/h) en hora pico del año 2022 incluyendo el flujo de motocicletas.
- Se tuvo en consideración que la densidad esta expresada de la siguiente manera:

$$D = q_p/v \text{ (ade/km/carril)} \quad (10)$$

- Se dividió el flujo vehicular total calculado entre el número de carriles en consideración (2, o 3, o 4):

$$\text{Flujo por carril} = \frac{q_{vtotal}}{\text{número de carriles}} \text{ (ade/h/carril)} \quad (11)$$

- Para el cálculo de la velocidad a flujo libre, se aplica la ecuación:

$$v = v_f - a \left(\frac{v_p}{b} \right)^c \quad (12)$$

Donde:

v: velocidad de operación, en km/h

v_f: velocidad a flujo libre, en km/h

v_p=q_p: flujo de tránsito, en ade/h/carril

Los coeficientes de la ecuación anterior, corresponden a la tabla No.16 de la página 45 “Coeficientes de las ecuaciones flujo-velocidad” del manual de capacidad y nivel de servicio para vías multicarril INVIAS 2022, de acuerdo con el tipo de vía y flujo calculado para el tramo.

- Se aplica la ecuación de densidad:

$$D = \frac{q_p}{v} \text{ (ade/km/carril)} \quad (13)$$

Donde:

D: densidad, en ade/km/carril

q_p: flujo vehicular ajustado, en ade/h/carril

v: velocidad de operación, en km/h

De acuerdo con el valor de densidad obtenido se estableció el nivel de servicio, NS para cada.

El procedimiento anterior se aplicó tanto para flujos vehiculares de la hora pico, incluyendo motos del año 2022.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla 7-2:

Tabla 7-2 Modelación de nivel de servicio con 2, 3 y 4 carriles adicionales

No. Sector	PR inicial	PR final	FVHP 2022 (ade/h) *	2 carriles				3 carriles				4 carriles			
				Flujo (ade/h/c)	VFL (km/h)	Densid. (ade/km/c)	NS	Flujo (ade/h/c)	VFL (km/h)	Densid. (ade/km/c)	NS	Flujo (ade/h/c)	VFL (km/h)	Densid. (ade/km/c)	NS
Tramo 1 – Buga – Tuluá - Oriental															
1	66+902	71+590	1.585	793	89,0	8,9	B	528	89,7	5,9	A	396	89,9	4,4	A
2	71+590	76+700	1.585	793	89,0	8,9	B	528	89,7	5,9	A	396	89,9	4,4	A
3	76+700	78+300	1.585	793	89,0	8,9	B	528	89,7	5,9	A	396	89,9	4,4	A
4	78+300	83+000	1.585	793	89,0	8,9	B	528	89,7	5,9	A	396	89,9	4,4	A
5	83+000	86+080	1.585	793	89,0	8,9	B	528	89,7	5,9	A	396	89,9	4,4	A
6	86+080	89+200	1.585	793	78,4	10,1	B	528	79,4	6,7	A	396	79,7	5,0	A
Tramo 2 – Tuluá – Andalucía Oriental															
7	89+200	92+000	1.425	712	78,7	9,1	B	475	79,5	6,0	A	356	79,7	4,5	A
8	92+000	95+000	1.425	712	89,2	8,0	B	475	89,8	5,3	A	356	89,9	4,0	A
9	95+000	98+500	1.425	712	89,2	8,0	B	475	89,8	5,3	A	356	89,9	4,0	A
10	98+500	102+000	1.425	712	78,7	9,1	B	475	79,5	6,0	A	356	79,7	4,5	A
11	102+000	102+750	1.425	712	89,2	8,0	B	475	89,8	5,3	A	356	89,9	4,0	A
Tramo 3 – Andalucía – La Paila Oriental															
12	0+000	3+400	1.079	540	89,6	6,0	B	360	89,9	4,0	A	270	89,9	3,0	A
13	3+400	3+800	1.079	540	89,6	6,0	B	360	89,9	4,0	A	270	89,9	3,0	A
14	3+800	5+000	1.079	540	79,3	6,8	A	360	89,9	4,0	A	270	89,9	3,0	A
15	5+000	8+000	1.079	540	79,3	6,8	A	360	79,7	4,5	A	270	79,8	3,4	A
16	8+000	12+116	1.079	540	89,6	6,0	B	360	89,9	4,0	A	270	89,9	3,0	A
17	12+116	15+808	1.079	540	89,6	6,0	B	360	89,9	4,0	A	270	89,9	3,0	A
18	15+808	19+500	1.079	540	89,6	6,0	B	360	89,9	4,0	A	270	89,9	3,0	A
19	19+500	20+700	1.079	540	89,6	6,0	B	360	89,9	4,0	A	270	89,9	3,0	A
20	20+700	23+000	1.079	540	79,3	6,8	A	360	79,7	4,5	A	270	79,8	3,4	A
Tramo 6 – Buga – Tuluá Occidental															
25	66+902	69+650	1.696	848	88,8	9,5	B	565	89,7	6,3	B	424	89,8	4,7	A
26	69+650	74+200	1.696	848	88,8	9,5	B	565	89,7	6,3	B	424	89,8	4,7	A
27	74+200	76+800	1.696	848	88,8	9,5	B	565	89,7	6,3	B	424	89,8	4,7	A
28	76+800	78+300	1.696	848	88,8	9,5	B	565	89,7	6,3	B	424	89,8	4,7	A
29	78+300	83+200	1.696	848	88,8	9,5	B	565	89,7	6,3	B	424	89,8	4,7	A
30	83+200	89+200	1.696	848	78,1	1,9	B	565	79,3	7,1	B	424	79,6	5,3	A
Tramo 7 –Tuluá - Andalucía Occidental															

No. Sector	PR inicial	PR final	FVHP 2022 (ade/h) *	2 carriles				3 carriles				4 carriles			
				Flujo (ade/h/c)	VFL (km/h)	Densid. (ade/km/c)	NS	Flujo (ade/h/c)	VFL (km/h)	Densid. (ade/km/c)	NS	Flujo (ade/h/c)	VFL (km/h)	Densid. (ade/km/c)	NS
31	89+200	92+000	1.525	763	78,5	9,7	B	508	79,4	6,4	A	381	79,7	4,8	A
32	92+000	95+000	1.525	763	89,1	8,6	B	508	89,7	5,7	A	381	89,9	4,2	A
33	95+000	98+500	1.525	763	89,1	8,6	B	508	89,7	5,7	A	381	89,9	4,2	A
34	98+500	102+000	1.525	763	89,1	8,6	B	508	89,7	5,7	A	381	89,9	4,2	A
35	102+000	102+750	1.525	763	89,1	8,6	B	508	89,7	5,7	A	381	89,9	4,2	A
Tramo 8 – Andalucía – La Paila Occidental															
36	0+000	3+600	1.226	613	89,5	6,8	B	409	89,9	4,5	A	307	89,9	3,4	A
37	3+600	4+800	1.226	613	89,5	6,8	B	409	89,9	4,5	A	307	89,9	3,4	A
38	4+800	7+800	1.226	613	79,0	7,8	B	409	89,9	4,5	A	307	89,9	3,4	A
39	7+800	10+000	1.226	613	79,0	7,8	B	409	79,6	5,1	A	307	79,8	3,8	A
40	10+000	12+225	1.226	613	89,5	6,8	B	409	89,9	4,5	A	307	89,9	3,4	A
41	12+225	14+200	1.226	613	89,5	6,8	B	409	89,9	4,5	A	307	89,9	3,4	A
42	14+200	19+500	1.226	613	89,5	6,8	B	409	89,9	4,5	A	307	89,9	3,4	A
43	19+500	20+700	1.226	613	89,5	6,8	B	409	89,9	4,5	A	307	89,9	3,4	A
44	20+700	23+000	1.226	613	64,6	9,5	B	409	66,8	6,1	A	307	67,6	4,5	A

* Incluye flujo vehicular de motocicletas

Fuente: elaboración propia.

De los resultados anteriores se puede establecer que, los sectores del tramo Buga-Tuluá occidental para volver a un nivel de servicio, NS: A, requieren un total de 4 carriles, mientras que los demás tramos para volver al nivel de servicio, NS: A, requieren un mínimo de 3 carriles.

8. Conclusiones

La sectorización de los 80 km de longitud del proyecto refleja una variación de características geométricas y operativas que dieron como resultado la definición de un total de 49 sectores de análisis.

Los 12 sectores definidos en el tramo Buga–Tuluá, tanto orientales como occidentales, operan con un Nivel de Servicio NS: B, y los otros 37 sectores identificados operan con un nivel de servicio NS: A.

En 2022 en la hora pico y con la presencia de flujo vehicular de motos, todos los sectores de los tramos Buga-Tuluá y Tuluá-Andalucía presentan un nivel de servicio NS: B, con densidades muy próximas a 11 ade/km/carril, punto de inicio del NS: C.

El comparativo de resultados del nivel de servicio, NS, calculado por los dos manuales de INVIAS 2022 y HCM2016, presenta una notoria diferencia en donde el tramo Buga-Tuluá en ambos sentidos registró un NS: B por INVIAS 2022 y NS: A por HCM 2016, lo que obedece a las diferencias entre los rangos de la densidad de cada manual; INVIAS 2022 define un rango de $>0-11$ ade/milla/carril y HCM 2016 un rango de ≤ 6 para asignar un nivel de servicio NS: A. Los demás tramos en su mayoría tuvieron el mismo nivel de servicio, NS: A, por las dos metodologías.

En las 8 rampas de ascenso y descenso que presenta la carretera, el nivel de servicio, NS, es similar al del sector donde se encuentran, es decir que no afectan al sector, resultado acorde con el desarrollo del proyecto en terreno plano del Valle del Cauca.

La presencia de flujo vehicular de motocicletas impacta notablemente en los resultados básicos arrojados por el método INVIAS 2022, en este caso, todos los sectores del tramo Buga-Tuluá se mantiene el nivel de servicio NS:B, aunque con un notorio incremento de la densidad; en el tramo Tuluá-Andalucía y Andalucía-La Paila se presenta una afectación pasando del nivel de servicio NS:A a NS:B; resultados que justifican la importancia de incluir la participación del flujo de motocicletas en los estudios de capacidad y nivel de servicio.

En los periodos estacionales como año nuevo, puente de reyes, Semana Santa, vacaciones de mitad de año y navidad, los sectores de los tramos Buga – Tuluá y Tuluá – Andalucía operaron a niveles de servicio en C y E, siendo E el nivel de servicio a capacidad; esta es una situación para considerar en la planeación de la capacidad vial en países como Colombia donde se incrementan los viajes por carretera en automóvil particular para dichas temporadas.

Se demostró el impacto del incremento de tráfico al encontrar que todos los sectores del trayecto Buga-La Paila, si presentan un incremento mínimo del 2.5% del tráfico anual, tienen tendencia al detrimento del nivel de servicio, NS, en 10 años pasando de NS: B a NS: C.

En la actualidad, los sectores de los tramos Buga-Tuluá y Buga-Andalucía para volver al nivel de servicio NS: A, en la hora pico, requieren un mínimo de 3 carriles.

9. Recomendaciones

De manera general se recomienda para obtener resultados más objetivos en la realización de estudios y nivel de servicio, NS, en etapa de planeación o de operación, para las vías del territorio colombiano, incluir siempre el flujo de motocicletas considerándolas con un valor de 1.0 ade/km/carril.

De acuerdo con la numerosa sectorización encontrada con 49 unidades, se sugiere que las entidades del estado a cargo de la vía nacional analizada implementen estrategias de control para buscar que no se sigan afectando las características de la vía y por ende su capacidad, especialmente se hace énfasis en la necesidad de controlar el aumento en la densidad de accesos directos a las calzadas y los desarrollos urbanísticos y residenciales de tipo campestre de las comunidades al lado de la vía.

Con base en los resultados de nivel de servicio, NS, actuales y los escenarios proyectados con el incremento de tráfico en los próximos 5, 10 y 15 años, se recomienda para el tramo Tuluá-Andalucía, dar inicio al planeamiento para la ampliación de un carril para ambas calzadas, considerando la gestión predial para la futura ampliación a 4 carriles.

10. Referencias

- Alvear Sanín, J. (2008). *Historia del Transporte y la Infraestructura en Colombia (1492-2007)*. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de Tránsito fundamentos y aplicaciones* (9 ed.). Mexico D.F.: Alfaomega.
- Congreso de Colombia. (6 de agosto de 2002). Ley 769 de 2002. *Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre*. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- Congreso de Colombia. (25 de julio de 2008). Ley 1239 de 2008. *por medio de la cual se modifican los artículos 106 y 107 de la ley 769*. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- Fernandez Aguilera, R. (2014). *Temas de iongeniería y gestión de tránsito*. Santiago de Chile: RIL Editores.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F: Mc Graw Hill.
- Instituto Nacional de Vías. (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Bogotá D.C.: Ministerio de Transporte de Colombia.
- INVIAS. (2017). *Serie historica de tránsito promedio diario 2007-2017*. Bogotá D.C.: INVIAS. Recuperado el 26 de Abril de 2022, de www.invias.gov.co
- INVIAS. (2022). *Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril*. Bogotá D.C.: Universidad del Cauca.
- Ministerio de Transporte. (2011). *Plan estratégico intermodal de infraestructura de transporte*. Bogotá D.C.: Ministerio de Transporte.
- Ministerio de Transporte. (2022). *Información de viajes de carga seca por carretera realizados durante el año 2021*. Bogotá: Ministerio de Transporte. Recuperado el 1 de Mayo de 2022, de <https://plc.mintransporte.gov.co/Estad%C3%ADsticas/Carga-Modo-Terrestre/Carga-Movilizada-Carretera-RNDC/Toneladas-y-viajes-2021>

- Ortúzar, J. d., & Willumsen, L. (2008). *Módelos de transporte*. Santander: Publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- Pérez, G. J. (octubre de 2005). *La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia*. Banco de la República. Cartagena: Banco de la República. Obtenido de www.banrep.gov.co
- Thomson, I., & Bull, A. (junio de 2001). *La congestión del tránsito urbano, causas y consecuencias económicas y sociales*. Santiago de Chile, Chile: Naciones Unidas.
- Transportation Research Board. (2016). *Highway capacity manual*. Washington, DC: Transportation Research Board publications.

11. Anexos

- Anexo 1 Archivos de cálculo según manual de capacidad y nivel de servicio multicarril INVIAS 2022
- Anexo 2 Archivos de cálculo según manual de capacidad y nivel de servicio HCM2016
- Anexo 3 Archivos del análisis del flujo vehicular
- Anexo 4 Resultados encuesta de usuarios para definir tipo de conductor
- Anexo 5 Archivos de análisis de rampas de ascenso y descenso
- Anexo 6 Archivos del pronóstico del nivel de servicio a 5, 10 y 15 años
- Anexo 7 Archivos de cálculo con velocidad a flujo libre tomada con radar
- Anexo 8 Archivos de comparación con velocidad a flujo libre con radar y con ajustes por características de la vía
- Anexo 9 Registro fotográfico de los tramos identificados