



Vigilada Mineducación

# **PROPUESTA DE DISEÑO DE DOBLE CALZADA ENTRE EL ALTO DE LAS PALMAS Y EL SECTOR DE DON DIEGO**

**CARLOS ALBERTO BERGAÑO JARAMILLO**

**Tesis de grado para optar al título de Máster en Ingeniería**

**ASESOR:**

**Ph. D. ABRAHAM URIEL ZAPATA MUNERA**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
MEDELLÍN  
2023**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecerle primeramente a mi Mamá que siempre me ha apoyado incondicionalmente.

A mi amada esposa por su apoyo y aliento.

A German, Sebastian velez y Carlos Cruz por su ayuda en la concepción de este Diseño y en su gran ayuda para la elaboración de este.

Y a mis compañeros de planeación y proyectos por la ayuda de todas las especialidades.

# CONTENIDO

	pág.
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	15
2. JUSTIFICACIÓN .....	16
3. OBJETIVOS .....	17
3.1 Objetivo General.....	17
3.2 Objetivos Específicos .....	17
4. MARCO TEÓRICO .....	18
4.1 DIAGNOSTICO DEL CORREDOR Y ESTUDIO DE TRANSITO .....	18
4.1.1 Estudio de volúmenes vehiculares.....	21
4.1.2 Calibración y validación del modelo.....	24
4.1.3 Estimación TPDA INVIAS.....	25
4.1.4 Estimación TPDA Cal y Mayor (distribución normal).....	27
4.1.5 Estimación TPDA Cal y Mayor (distribución t-student).....	29
4.2 DISEÑO GEOMÉTRICO .....	31
4.2.1 Diseño horizontal.....	31
4.2.2 Diseño vertical.....	31
4.2.3 Sección transversal .....	31
4.3 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU).....	31
5. METODOLOGÍA.....	33
5.1 DIAGNOSTICO DEL CORREDOR Y ESTUDIO DE TRANSITO .....	33
5.1.1 Levantamiento de información de campo .....	34
5.1.2 Información secundaria .....	36
5.1.3 Estimación TPD y proyecciones .....	36

5.1.4	Análisis de capacidad y niveles de servicio .....	37
5.1.5	Vías de dos carriles .....	37
5.1.6	Vías multicarril .....	45
5.2	DISEÑO GEOMÉTRICO .....	49
5.2.1	Trabajos topográficos .....	49
5.2.2	Adopción de datum horizontal y vertical .....	53
5.2.3	Georreferenciación .....	53
5.2.4	Modelo digital de terreno .....	55
5.3	PRESUPUESTO .....	56
6.	RESULTADO DEL PROYECTO .....	58
6.1	DIAGNOSTICO DEL CORREDOR, ESTUDIO DE TRÁNSITO, CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.....	58
6.1.1	Conteos .....	58
6.1.2	Estimación TPD.....	58
6.1.3	Análisis de datos de aforos.....	59
6.1.4	Ambos sentidos .....	59
6.1.5	Sentido Don Diego - Palmas.....	61
6.1.6	Sentido Palmas – Don Diego.....	63
6.1.7	Proyecciones de tránsito .....	65
6.1.8	Estimación de capacidad y nivel de servicio .....	68
6.1.9	Cálculo de capacidad y niveles de servicio de la situación actual (sin proyecto) 68	
6.1.10	Cálculo de capacidad y niveles de servicio de la alternativa (con proyecto)	70
6.2	DISEÑO GEOMÉTRICO .....	73
6.2.1	Radio mínimo de curvatura.....	73

6.2.2	Longitud mínima curva circular .....	73
6.2.3	Criterios de diseño geométrico transversal .....	74
6.2.4	Ancho de calzada .....	74
6.2.5	Ancho de bermas .....	75
6.2.6	Derecho de vía .....	75
6.2.7	Modelación .....	76
6.2.8	Análisis de visibilidad .....	78
6.2.9	Análisis de consistencia del diseño .....	79
6.3	PRESUPUESTO .....	81
6.3.1	Presupuesto y Análisis de precios unitarios .....	81
7.	DISCUSIÓN .....	83
8.	REFERENCIAS .....	84

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Proyecciones de población zona de influencia del proyecto 2013-2040 (Elaboración propia información extraída de la página gobernación de Antioquia (Antioquia Datos, 2022) .....	15
Tabla 2 Clasificación de volúmenes de tránsito según el tiempo de medición, elaboración propia .....	21
Tabla 3. Valores obtenidos por el método propuesto por INVIAS (con motos).....	26
Tabla 4. Rangos de TPDA obtenidos (con motos) .....	26
Tabla 5. Valores obtenidos por el método propuesto por INVIAS (sin motos) .....	27
Tabla 6. Rangos TPDA obtenidos (sin motos) .....	27
Tabla 7. Valores obtenidos por el método propuesto por Cal y Mayor (Normal, con motos) .....	28
Tabla 8. Rangos TPDA obtenidos con motos .....	28
Tabla 9. Valores obtenidos por el método propuesto por Cal y Mayor (Normal, sin motos) .....	28
Tabla 10. Rangos TPDA obtenidos sin motos.....	29
Tabla 11. Valores obtenidos por el método propuesto por Cal y Mayor (T-Student, con motos) .....	29
Tabla 12. Rangos TPDA obtenidos con motos. ....	30
Tabla 13. Valores obtenidos por el método propuesto por Cal y Mayor (T-Student, sin motos) .....	30
Tabla 14. Rangos TPDA obtenidos sin motos.....	30
Tabla 15. Características del proyecto.....	33
Tabla 16. Ficha Técnica estación de conteo .....	35
Tabla 17. Factores de corrección a la capacidad por pendiente (Fpe) .....	38
Tabla 18. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Fd) .....	38

Tabla 19. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (Fcb) .....	39
Tabla 20. Equivalentes camión (Ec).....	39
Tabla 21. Factores pico basados en períodos de cinco minutos suponiendo llegadas de vehículos aleatorias (FPH).....	40
Tabla 22. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes (V1).....	41
Tabla 23. Factores de corrección al Nivel de Servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (fu).....	42
Tabla 24. Factores de corrección al Nivel de Servicio por el efecto combinado del ancho del carril y berma (fcb) .....	42
Tabla 25 Equivalentes camión para corrección al nivel de servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (fp).....	43
Tabla 26. Factor de corrección al Nivel de Servicio por efecto de la tortuosidad (ft) .....	43
Tabla 27. Definición de Nivel de Servicio con base en la relación $V_M/V_1*100$ .....	44
Tabla 28. Velocidad genérica por tipo de carretera.....	45
Tabla 29. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho de carril (fc) .....	46
Tabla 30. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (fs) .....	46
Tabla 31. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (fb) .....	46
Tabla 32. Ajuste de la velocidad genérica por efecto de la densidad de accesos (fa) .....	47
Tabla 33. Coeficientes de las ecuaciones flujo-velocidad .....	47
Tabla 34. Equivalente de camiones para tipo de terreno genérico.....	48
Tabla 35. Niveles de servicio para carreteras multicarril en Colombia .....	49
Tabla 36. Datos Magna Sirgas Origen Bogotá.....	53
Tabla 37. Cuadro de coordenadas.....	54
Tabla 38. TPDS con motos.....	58

Tabla 39. TPDS sin motos .....	59
Tabla 40. Análisis hora de máxima demanda en ambos sentidos sin motos.....	59
Tabla 41. Análisis hora de máxima demanda en ambos sentidos con motos.....	60
Tabla 42. Análisis hora de máxima demanda sentido Don Diego - Palmas con motos ....	61
Tabla 43. Análisis hora de máxima demanda sentido Don Diego - Palmas sin motos .....	62
Tabla 44. Análisis hora de máxima demanda sentido Palmas – Don Diego con motos ...	63
Tabla 45. Análisis hora de máxima demanda sentido Palmas – Don Diego sin motos.....	64
Tabla 46. Serie histórica estación 362 .....	65
Tabla 47. Tasa de crecimiento.....	67
Tabla 48. Proyección TPDA a 20 años .....	67
<b>Tabla 49 Calculo de nivel de capacidad y nivel de servicio.....</b>	<b>69</b>
Tabla 50 Cálculo de capacidad y nivel de servicio multicarril estado actual .....	71
Tabla 51 Cálculo de capacidad y nivel de servicio multicarril Proyección 20 años .....	72
Tabla 52. Radios mínimos .....	73
Tabla 53. Longitud mínima curva circular .....	74
Tabla 54 ancho de calzada.....	74
Tabla 55. Resumen especificaciones.....	76
Tabla 56 Cuadro de análisis de consistencia del diseño calzada derecha .....	79
Tabla 57 Cuadro de análisis de consistencia del diseño calzada izquierda.....	80
Tabla 58 Presupuesto proyecto por grandes partidas .....	82

# LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1 Categorías vehiculares en Colombia (Riascos & pabon, 2016).....	22
Figura 2 Formato de volúmenes vehiculares por maniobra y tipo de vehículo. Tomado de: Alcaldía de Medellín, 2019.....	23
Figura 3 Zona de influencia del proyecto Alto de palmas – Don Diego .....	34
Figura 4 Cálculo capacidad y nivel de servicio calzada sencilla.....	40
Figura 5 Esquema para la determinación del Nivel de Servicio.....	44
Figura 6. Equipo lidar utilizado para la medición del proyecto.....	51
Figura 7 Vista superior y frontal de GPS y nube de puntos sin ajuste (k21+250) .....	52
Figura 8 Vista superior y frontal de GPS y nube de puntos ajustada (k21+250).....	52
Figura 9 Ubicación GPS Km12+240 ( Elaboración Propia ) .....	54
Figura 10 Ejemplo de cálculo de curvas de nivel Km 12+180 Calculado a partir del modelo digital del terreno .....	56
Figura 11 Composición vehicular ambos sentidos 27,28 y 29 de Julio 2023.....	60
Figura 12 Composición de vehículos pesados ambos sentidos 27,28 y 29 de Julio 2023. ....	61
Figura 13 Composición vehicular Don Diego – Palmas 27,28 y 29 de Julio 2023. ....	62
Figura 14 Composición pesados Don Diego – Palmas 27,28 y 29 de Julio 2023. ....	63
Figura 15 Composición vehicular Palmas – Don Diego 27,28 y 29 de Julio 2023. ....	64
Figura 16 Composición pesados Palmas – Don Diego 27,28 y 29 de Julio 2023.....	65
Figura 17 Serie histórica Vs. modelos matemáticos.....	66
Figura 18 Modelación topografía (Elaboración propia) sector abscisas K12+180. ....	77

Figura 19 Diseño en planta (Elaboración propia) sector abscisas K12+180.....	77
Figura 20 Diseño en perfil sector k22+180.....	78
Figura 21 Sección transversal típica .....	78
Figura 22 . Perfil de velocidades calzada Derecha .....	80
<b>Figura 23 Perfil de velocidades calzada Izquierda .....</b>	<b>80</b>

## **LISTA DE ANEXOS**

anexo 1 planos de planta perfil ejes izquierdo y derecho

anexo 2 Análisis de velocidad de parada

anexo 3 Conteos Palmas – Don Diego

anexo 4 Presupuesto

Anexo 5 Apu

## RESUMEN

Los problemas de congestión vehicular hacen parte fundamental de la agenda de planeación de las principales ciudades y territorios del mundo, debido a que es una problemática que afecta el desempeño económico y la calidad de vida de las personas.

El desarrollo comercial e industrial junto con el crecimiento poblacional del oriente Antioqueño debido al desarrollo de proyectos inmobiliarios ha generado una alta demanda de tráfico en la vía entre El alto de palmas y el sector de Don Diego, presentado congestión vehicular, dificultades de movilidad y bajas velocidades de circulación en el sector, lo que ha incrementado los tiempos de viaje entre el valle del Aburra y el valle de San Nicolas, disminuyendo así la calidad de vida de la población de las dos regiones.

Esta vía pertenece a la concesión de primera generación Devimed S.A., la cual a su vez está encargada de la operación y mantenimiento de las vías del Oriente Antioqueño. En vista de la importancia y el impacto que trae a la movilidad de la región, surge la necesidad de mejorar la infraestructura vial del corredor de la ruta 56AN-01. Esta vía inicia en el sector de alto de palmas en la abscisa Km10+380 (glorieta del sector de mall indiana) hasta la glorieta del Sector de Don diego en el municipio de El Retiro en el Km 23+170 para un total de 12.79 km.

Este proyecto consiste resolver el problema de movilidad a través del diseño de una calzada adicional a la existente, mejorando así las condiciones de operación, Para lo cual se realizó un diagnóstico del estado actual de la infraestructura existente, contemplando el estudio de tránsito que contiene información como aforos, levantamientos geométricos y de información secundaria como referencias bibliográficas, posterior a esto se utiliza la tablas de análisis de tránsito del INVIAS para determinar los niveles de servicio y capacidad actual, Posteriormente se evalúa la alternativa de una doble calzada con un tránsito proyectado a 20 años, para evaluar su necesidad. Al obtener estos criterios se procede a realizar el diseño geométrico según establece el Instituto Nacional de vías (INVIAS) en los manuales de diseño geométrico, AASHTO GDHS-7US Department of Transportation. A partir de la información de diseño se presenta el presupuesto basado en el análisis de precios unitarios (APU) y cantidades de obra.

Palabras clave: Vía, Doble Calzada, diseño, presupuesto.

## ABSTRACT

Vehicle congestion problems are a fundamental part of the planning agenda of the main cities and territories of the world, because it is a problem that affects the economic performance and quality of life of people.

The commercial and industrial development along with the population growth of eastern Antioquia due to the development of real estate projects has generated a high demand for traffic on the road between El Alto de Palmas and the Don Diego sector, presenting vehicular congestion, mobility difficulties and low circulation speeds in the sector, which has increased travel times between the Aburra valley and the San Nicolas valley, thus decreasing the quality of life of the population of the two regions for a total of 12.79 km..

This road belongs to the first generation concession Devimed S.A., which in turn is in charge of the operation and maintenance of the roads of Eastern Antioquia. In view of the importance and impact it brings to the mobility of the region, the need arises to improve the road infrastructure of the route 56AN-01 corridor. This road begins in the Alto de Palmas sector at abscissa Km10+380 (roundabout in the Mall Indiana sector) to the Don Diego Sector roundabout in the municipality of El Retiro at Km 23+170 .

This project consists of solving the mobility problem through the design of an additional roadway to the existing one, thus improving the operating conditions. For this purpose, a diagnosis of the current state of the existing infrastructure was carried out, contemplating the traffic study that contains information such as capacity, geometric surveys and secondary information such as bibliographic references, after this the INVIAS traffic analysis tables are used to determine the service levels and current capacity. Subsequently, the alternative of a double carriageway with a projected traffic at 20 years, to evaluate your need. Once these criteria are obtained, the geometric design is carried out as established by the National Highway Institute (INVIAS) in the geometric design manuals, AASHTO GDHS-7US Department of Transportation. Based on the design information, the budget is presented based on the analysis of unit prices (APU) and work quantities.

Keywords: Road, Dual Carriageway, design, budget.

## INTRODUCCIÓN

La subregión del Oriente Antioqueño ha experimentado un notorio crecimiento y desarrollo en los últimos años, consolidándose como la segunda área más significativa en el departamento de Antioquia después del Valle de Aburrá en términos económicos (Camara de comercio Oriente Antioqueño, 2023). Su expansión urbanística y el notable aumento en la cantidad de vehículos demandan la mejora de las condiciones de tránsito e interconexión en la zona (Camara de comercio Oriente Antioqueño, 2023).

En este contexto, resulta crucial abordar proyectos de infraestructura vial como contribución al desarrollo local, enfocándonos en optimizar la movilidad, accesibilidad, seguridad vial y competitividad regional. Un ejemplo concreto de esta iniciativa es el proyecto de doble calzada en la ruta 56-01, que conecta los municipios de Envigado y El Retiro. Este proyecto cumple con los estándares y normativas nacionales vigentes para el diseño de carreteras, conforme a los manuales y normas del INVIAS.

La propuesta implica el diseño de una doble calzada con dos carriles y bermas paralelas a la calzada existente, abarcando una longitud aproximada de 12.79 km. El inicio se encuentra en el sector de la Glorieta Alto de las Palmas (Envigado), concluyendo en el sector de la Glorieta Don Diego entre las abscisas Km10+380 al Km23+170, en el municipio de El Retiro. Financieramente, se contempla el uso del peaje de Las Palmas como fuente de financiación, siguiendo el esquema establecido para el proyecto.

Este proyecto no solo busca mejorar la conectividad local, sino que también se integra a la necesidad de establecer una doble calzada que conecte el área metropolitana del Valle de Aburrá con el Valle de San Nicolás, promoviendo así la accesibilidad y mejorando la movilidad en la región. La implementación de esta infraestructura reducirá costos y tiempos de viaje, facilitando la articulación de la región y potenciando una amplia oferta de servicios comerciales. Estos aspectos, a su vez, contribuirán al crecimiento económico y la productividad en el Oriente Antioqueño.

# 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los municipios del Oriente antioqueño en especial los del valle de San Nicolas En el departamento de Antioquia se enfrentan a una creciente demanda de movilidad debido al incremento de la población y el desarrollo económico de la región. La construcción de una doble calzada entre La glorieta de Alto de Las Palmas y la glorieta del sector de Don Diego se considera una solución necesaria para mejorar la infraestructura vial y abordar los problemas de congestión de tráfico y seguridad vial en la zona. Sin embargo, el diseño y la construcción de una doble calzada plantean una serie de desafíos y problemáticas que deben ser abordados de manera integral: Congestión del tráfico: La carretera actualmente experimenta una alta congestión durante las horas pico, lo que afecta negativamente la movilidad de los residentes y visitantes de El Retiro. La construcción de una doble calzada debe abordar este problema y mejorar la fluidez del tráfico.

**Tabla 1 Proyecciones de población zona de influencia del proyecto 2013-2040 (Elaboración propia información extraída de la página gobernación de Antioquia (Antioquia Datos, 2022))**

POBLACION TOTAL CON PROYECCION A 2040												
AÑO	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2023	2030	2040
<b>TOTAL VALLE DE SAN NICOLAS (ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO)</b>	<b>348,792</b>	<b>353,955</b>	<b>359,121</b>	<b>364,316</b>	<b>369,491</b>	<b>424,525</b>	<b>436,742</b>	<b>447,101</b>	<b>454,126</b>	<b>467,746</b>	<b>481,775</b>	<b>496,225</b>
El Carmen de Viboral	45,578	46,166	46,751	47,340	47,915	59,416	61,122	62,581	63,564	65,470	67,434	69,457
El Retiro	18,712	18,916	19,108	19,310	19,507	23,514	24,185	24,757	25,146	25,900	26,677	27,477
Guarne	46,096	46,951	47,797	48,659	49,533	55,121	56,774	58,159	59,073	60,845	62,670	64,550
La Ceja del Tambo	51,445	52,089	52,723	53,361	53,993	64,889	66,746	68,325	69,399	71,480	73,624	75,832
La Unión	18,905	19,010	19,119	19,229	19,324	21,475	21,963	22,391	22,742	23,424	24,126	24,849
Marinilla	51,767	52,559	53,374	54,186	55,000	64,645	66,399	67,893	68,960	71,028	73,158	75,352
Rionegro	116,289	118,264	120,249	122,231	124,219	135,465	139,553	142,995	145,242	149,599	154,086	158,708

Este crecimiento demográfico que se presenta se ve reflejado en la cantidad de usuarios que se tendrán dentro de esta vía viajando entre los municipios del oriente antioqueño o dirigiéndose a la ciudad de Medellín. Este efecto es visible en el tránsito que se da entre el valle de Aburrá y el Valle de San Nicolas, el cual ha aumentado anualmente desde el año 2013 (Antioquia Datos, 2022), esto es un reflejo de las obras de infraestructura que se realizan en la zona, como lo es el túnel de oriente (TAO) y la futura construcción de la doble calzada oriente (DCO) y la mejora de las vías del oriente antioqueño por parte de entes públicos y privados (Antioquia Datos, 2022).

## 2. JUSTIFICACIÓN

La construcción de una doble calzada entre el Alto de Las Palmas y la Glorieta de Don Diego es un proyecto de infraestructura vial destinado a mejorar la eficiencia del tránsito. La implementación de una doble calzada proporcionaría un trayecto más seguro para los conductores al separar los flujos de tráfico en direcciones opuestas, reduciendo así la probabilidad de colisiones frontales y mejorando la visibilidad en la carretera. También se espera que genere un impacto significativo en el desarrollo económico de la región.

La mejora de la infraestructura vial podría impulsar el desarrollo económico al facilitar el acceso a áreas comerciales y turísticas. La eficiencia en el flujo de tráfico resultante podría atraer a inversores y visitantes adicionales, al tiempo que se reduciría la congestión, aumentando la capacidad de la carretera y disminuyendo los tiempos de viaje y el consumo de combustible. Estos beneficios no solo son favorables para los conductores, sino que también contribuirían positivamente al medio ambiente.

La conexión más rápida entre ambos Valles facilitaría el transporte de mercancías y personas, teniendo un impacto directo en la economía y la integración regional. La reducción de la congestión y los tiempos de viaje más cortos mejorarían la calidad de vida de los residentes locales, atrayendo posiblemente a nuevas familias y empresas a la zona. Además, el acceso mejorado a destinos turísticos y áreas de recreación podría potenciar la industria turística y fomentar el desarrollo de actividades recreativas en la región.

Considerando los beneficios a largo plazo, aunque la construcción de una doble calzada puede requerir una inversión significativa inicial, se espera que los beneficios en términos de seguridad, economía y calidad de vida superen con creces estos costos iniciales. Sin embargo, antes de proceder con el proyecto, es crucial llevar a cabo un estudio de viabilidad exhaustivo que evalúe todos los aspectos y costos asociados para asegurar una toma de decisiones informada y efectiva.

El problema por resolver en esta justificación es la necesidad de mejorar la infraestructura vial entre el Alto de Las Palmas y la Glorieta de Don Diego mediante la construcción de una doble calzada. Se argumenta que esta intervención es crucial para abordar diversos desafíos relacionados con la eficiencia de tránsito, el desarrollo económico y la calidad de vida en la región.

En resumen, el problema central es la necesidad de abordar los desafíos actuales en términos de tránsito, desarrollo económico y calidad de vida en la región a través de la construcción de una doble calzada, con la condición de llevar a cabo un estudio de viabilidad antes de proceder con la implementación.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo General**

Proponer un diseño geométrico y de tránsito para una doble calzada en fase 1 en el tramo Km10+380 (glorieta del sector de mall indiana) hasta la glorieta del Sector de Don diego en el municipio de El Retiro en el Km 23+170, Ruta Nacional 56-01, considerando aspectos topográficos, flujo vehicular y capacidad de la vía. Además, se elaborará un presupuesto detallado que permita evaluar la viabilidad económica de la implementación del diseño propuesto.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un diagnóstico de la vía a partir de su geometría y con aforos de tránsito tomados en el sitio.
- Realizar el diseño geométrico del desdoblamiento acorde a los manuales de diseño estipulados por el INVIAS.
- Realizar el presupuesto para poder tener un estimado del valor del proyecto y su viabilidad económica.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 DIAGNOSTICO DEL CORREDOR Y ESTUDIO DE TRANSITO

Para poder realizar un diagnóstico del corredor es importante tener en cuenta que se deben realizar diversos estudios de la zona para poder tener una representación certera de las condiciones del lugar, entre estos se contemplan los estudios de tránsito de volumen vehicular, evaluando la alternativa de los diferentes tipos de modelo de tránsito.

Es necesario comprender el concepto de tránsito para poder realizar un estudio de este tipo, por lo que se utilizará la definición dada por el libro Elementos de la Teoría del tráfico vehicular (*Fernández, 2010*) donde se menciona: “El tránsito o tráfico es la circulación de personas, algunas de ellas en vehículos, por el espacio público. Se trata de un fenómeno físico y, a la vez, social.” (p.8). A partir de esto podemos afirmar que los estudios de tránsito son todos aquellos que involucren los elementos que se mencionan anteriormente, es decir personas, vehículos y el espacio público, que en este caso es el lugar por donde transitan los actores (personas y vehículos). El uso de técnicas de ingeniería para mejorar y disponer de la mejor manera los espacios se le conoce como ingeniería de transporte o de tránsito.

A partir de diferentes búsquedas se determinó que las variables más importantes lograr una correcta representación del tráfico se divide en 2 categorías:

1. Variables microscópicas: Son aquellas variables que toman las características individuales de los vehículos. Algunas de estas variables son las siguientes:

- Tiempo inter vehicular (TIV o h): Cantidad de tiempo que separa el paso de dos vehículos sucesivos, medidos en el mismo lugar sobre una vía de circulación. Esta variable se mide en [segundos/vehículo]. (*Gómez, 2019*)
- Distancia inter vehicular (DIV o s): Cantidad de espacio entre dos vehículos sucesivos, medidos en el mismo lugar sobre una vía de circulación. Esta variable se mide en [metros/vehículo]. (*Gómez, 2019*)

2. Variables macroscópicas: Son aquellas variables que toman las características generales de un grupo de vehículos (*Ilopis, 2012*)

- Flujo o intensidad vehicular (q): Se define como el número de vehículos (N) que pasan por una sección determinada en un tiempo (T) determinado, para obtener este valor se debe realizar la operación indicada en la Ecuación 1, esta se mide en [vehículos/hora].

$$q = \frac{N}{T}$$

**Ecuación 1**

Donde:

q = Flujo

N= Numero de vehículos

T= Tiempo en el que pasaron lo vehículos

- Densidad (k): Se define como densidad al número de vehículos que ocupan una longitud determinada en un tiempo concreto, su valor contempla las unidades de [vehículos/kilometro, para realizar su cálculo se deben entrar los datos en la Ecuación 2.

$$K = \frac{N}{d}$$

### Ecuación 2

Donde:

K = densidad

N = Numero de vehículos

D = distancia donde se miden los vehículos

En caso de conocerse las velocidades medias es posible realizar relaciones a partir de lo que se conoce como la “ecuación fundamental de tránsito” (Ilopis, 2012), la cual relaciona el flujo y la densidad a partir de la velocidad media espacial (Véase Ecuación 3):

$$q = k * Ve$$

### Ecuación 3

Donde:

K = densidad

q = flujo

Ve = Velocidad media espacial

- Velocidad (v): Se define como una relación entre el espacio que un vehículo recorre y el tiempo que tarda en hacerlo; la velocidad es una característica fundamental del tránsito ya que está relacionada con la serviciabilidad y la percepción de los usuarios sobre la seguridad y calidad de la vía (Ilopis, 2012). Para realizar estudios de tránsito es necesario conocer diferentes tipos de velocidad:
- Velocidad de punto (Vi): Es la velocidad de un vehículo i en el momento que pasa por un punto de medición.

- Velocidad instantánea ( $V_j$ ): Se define como la velocidad de un vehículo  $j$  cuando circula durante un tramo dado de la vía.
- Velocidad media espacial ( $V_e$ ): se define como la media aritmética de las velocidades instantáneas ( $V_j$ ) de todos los vehículos que encuentran en un tramo de la vía en cuestión (véase Ecuación 4).

$$V_e = \frac{\sum_{j=1}^n V_j}{n}$$

#### Ecuación 4

Donde:

$V_e$  = Velocidad media espacial

$V_j$  = velocidad instantánea

$n$  = número de vehículos que se encuentran en el tramo de vía

- Velocidad media temporal ( $V_t$ ): Se define como la media aritmética de las velocidades de punto en un intervalo de tiempo definido (Véase Ecuación 5).

$$V_t = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

#### Ecuación 5

Donde:

$V_t$  = Velocidad media temporal

$V_i$  = velocidad de punto

$n$  = número de vehículos que se encuentran en el tramo de vía

- Velocidad de recorrido: Es la velocidad que se obtiene al dividir la distancia recorrida entre el tiempo total de viaje, este tiempo total de viaje incluye las demoras que se generan por el propio tráfico, pero no por paradas fuera de la vía (hospedaje en hoteles, comida, otros.)
- Velocidad de marcha: se define como el resultado de la división entre la distancia recorrida y el tiempo que el vehículo estuvo en marcha.
- Velocidad de diseño: Es la velocidad máxima a la cual podrán transitar los vehículos según el diseño de la vía, por lo general está ligada a manuales de diseño geométrico y normativas.

- Velocidad reglamentaria: es la velocidad que se define por los entes de tránsito para los usuarios de la vía según la reglamentación, la zona y el diseño de estas.
- Velocidad de operación: se define como velocidad de operación a la velocidad real que se da en la vía, por lo general la de mayor interés es la de los vehículos pesados debido a que es la más crítica.

#### 4.1.1 Estudio de volúmenes vehiculares

El estudio de volúmenes vehiculares o de tránsito contempla factores relacionados al flujo vehicular, debido a que este trata la cantidad de vehículos que transcurren en una vía en un tiempo determinado.

La tarea de estudiar los volúmenes de tránsito es esencial para determinar la evolución de volúmenes de tránsito, además también permite estimar los gastos que se tendrán a futuro (en mantenimientos) asociado a la evolución de este tránsito.

El tránsito se divide en 2 categorías principales, vehículos livianos y pesados, dentro de los livianos se cuentan los automóviles y algunas busetas o microbuses, para los pesados se tienen en cuenta tanto buses como camiones (véase Figura 1) (INVIAS, 2015).

El volumen tránsito como conjunto permite desglosarse en diferente calificación según el tiempo de medición (Campo Enriquez & González Jaramillo, 2021):

**Tabla 2 Clasificación de volúmenes de tránsito según el tiempo de medición, elaboración propia**

TIPO DE VOLUMEN	TIEMPO DE MEDICIÓN
Transito horario (TH)	1 hora
Transito diario (TD)	1 Dia
Transito semanal (TS)	1 semana
Transito mensual (TM)	1 mes
Transito anual (TA)	1 año

A partir de algunos de estas clasificaciones se pueden obtener valores que tienen mayor aplicabilidad, como lo es el caso del tránsito promedio diario (TPD), este se define como el número total de vehículos que pasan en un periodo de tiempo entre 1 día y un año (véase Ecuación 6); por lo general tienden a usarse el TPDA (transito promedio diario anual, véase Ecuación 7) o el TPDM (Transito promedio diario mensual, véase Ecuación 8), ya que se utiliza como factor de toma de decisiones para proyectos y mantenimientos viales (INVIAS, 2015), además permite estimar demandas tanto actuales como futuras en las vías y

también revela tendencias vehiculares relacionadas a las fluctuaciones del tránsito tanto diarias como mensuales.

$$TPD = \frac{N}{1 \text{ Día} < T < 1 \text{ Año}}$$

**Ecuación 6**

$$TPDA = \frac{N}{365}$$

**Ecuación 7**






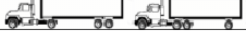

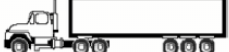
$$TPDM = \frac{N}{30}$$

**Ecuación 8**

Donde:

N = número de vehículos durante el periodo T

T = periodo de evaluación.

TIPO DE VEHÍCULOS		DESCRIPCIÓN
AUTOMÓVILES Y MICROBUSES		
BUSES		
CAMIONES	C2P	
	C2G	
	C3	
	C4	
	C5	
	>C5	

**Figura 1 Categorías vehiculares en Colombia (Riascos & pabon, 2016)**

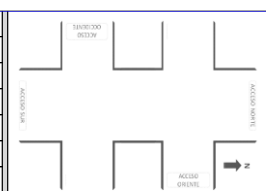
Para poder conocer estos flujos vehiculares es necesario recurrir a la realización de aforos, esto es un método por el cual se calculan los volúmenes y densidades de tráfico en un punto, durante periodos determinados de tiempo.

Los aforos pueden ser tanto manuales como digitales o automáticos:

Aforo manual: en este tipo de aforo se requiere tener al menos una persona por carril, ya que se anotan en simultaneo las maniobras de los vehículos dentro de una intersección, estos aforos se realizan en intervalos de tiempo que son iguales para cada aforo, por lo general tienen una duración de 15 a 30 minutos.

Para los aforos manuales se estableció un formato por parte de la alcaldía de Medellín en el año 2019, este divide el tránsito en categorías y permite mostrar que maniobra es la que se está contando (véase Figura 2).

FORMATO DE VOLÚMENES VEHICULARES POR MANIOBRA Y TIPO DE VEHICULO									
INGENIERÍA DE TRÁNSITO									
INTERSECCIÓN:		CALLE:		CARRERA:		FECHA:			
ACCESO:						DD	MM	AAAA	
AFORADOR:									
Observaciones									
Tipo de vehículo	Maniobra:	hora:	Maniobra:	hora:	Maniobra:	hora:			
MOTOS									
LIVIANOS									
TAXIS									
BUSES									
BICICLETAS									
CAMION REPARTADOR									
CAMION C2									
CAMINO C2S3									



El diagrama muestra un cruce de calles con carriles de acceso y salida. Se indican direcciones como 'ACCESO', 'SALIDA' y 'SALIDA' con flechas que muestran el flujo del tráfico.

**Figura 2 Formato de volúmenes vehiculares por maniobra y tipo de vehículo.  
Tomado de: Alcaldía de Medellín, 2019**

Aforos automáticos: Los aforos automáticos se basan en el uso de dispositivos tecnológicos para realizar los conteos, por lo general estos tienden a ser permanentes, estos dispositivos crean 2 tipos de aforos: Con separación de ejes y sin separación de ejes. La diferencia reside en que la primera técnica permite tener un aforo con los vehículos divididos en las categorías vehiculares y la segunda entrega un volumen vehicular neto o total, es decir, no tiene en cuenta las categorías según el número de ejes, pero da un recuento del total de vehículos que pasan en un tiempo determinado. (Kineo ingeniería, 2020).

A partir de la información recolectada en los aforos se realizan análisis de volúmenes de tránsito horarios donde es posible conocer:

- Volumen Horario Máximo Anual (VHMA): se define como la hora en la que se da el máximo volumen que en un punto o sección de un carril en todo el año. (Cal & Cardenas, 1982)
- Volumen horario de máxima demanda (VHMD) o Volumen de hora pico: Se define como el máximo número de vehículos durante 60 minutos en un carril, y este es el representativo del periodo de máxima demanda en un día específico. (Cal & Cardenas, 1982)
- Volumen horario del proyecto (VHP): Es el volumen de tránsito que será utilizado como base tanto para determinar características geométricas a la hora de diseñar, como para realizar proyecciones (Cal & Cardenas, 1982).

Los estudios de volúmenes de tránsito permiten conocer el estado actual de la zona, permitiendo discriminar horariamente los volúmenes de tránsito de manera horaria para así poder conocer las horas de interés para los proyectos, esto es algo recurrente en los diferentes trabajos realizados con una temática similar.

#### **4.1.2 Calibración y validación del modelo**

La calibración de un modelo se basa en la adecuación de las variables que se generan a partir de los parámetros ingresados que tiene el software, para que al momento de realizar la simulación los resultados sean confiables y más acertados con el entorno real, minimizando al máximo los errores que se pueden presentar (Cabrera, 2012), por lo que se realizan cambios en los parámetros que se pretenden modelar, como lo son la cantidad de vehículos, el número de carriles, el ancho de estos, los ángulos de entrecruzamiento, entre otros.

Posterior a la calibración del modelo se deben realizar métodos para validar el modelo, entre estos se puede encontrar el método GEH, mapas de calor de velocidades y tiempos de viaje.

Método GEH para validación: El método consiste en el cálculo de una expresión de un estadístico (véase Ecuación 9), el GEH toma su nombre de Geoffrey E. Havers, quien inventó este estadístico mientras trabajaba en la oficina de planeación de transporte de Londres y se utiliza principalmente en la ingeniería de tránsito, predicción de tráfico y modelación de tráfico.

$$GEH = \sqrt{\frac{(E - V)^2}{(E + V)/2}}$$

### Ecuación 9

Donde:

E = Volumen estimado del modelo

V = Valor observado en campo

El estadístico tiene como fin observar la diferencia que se da en una maniobra en un escenario del modelo, con los datos tomados en campo. El GEH funciona como indicador, por lo que cuando este toma un valor menor a 5 en el 85% de los casos individuales presentes en el modelo se dirá que este está calibrado. (Feldman, 2010)

Sin embargo, es siempre importante buscar que haya un valor menor a 5 en al menos el 90% de los casos, debido a que según el tamaño del modelo las diferencias pueden tener un nivel de significancia mayor, llevando a que el modelo a pesar de estar calibrado según este indicador, pueda estar dando valores alejados a la realidad cuando se realizan simulaciones a largo plazo (Feldman, 2010).

Al realizar micro simulaciones es importante tener en cuenta el comportamiento de los conductores, dado que este será determinante a la hora de obtener los resultados. Al hablar del comportamiento se está haciendo referencia a la manera en que los conductores coexisten con sus pares y con el entorno, donde habrá conductores agresivos con tendencias a no respetar las normas de tránsito o intentar adelantar constantemente a los demás automóviles, motos, buses o camiones que vayan a velocidades menores (Feldman, 2010).

#### 4.1.3 Estimación TPDA INVIAS

Para la estimación del TPDA siguiendo la metodología propuesta por Invías en el Manual de volúmenes de tránsito y Costos de Operación (2010-2011), este se calcula en función del TPDS y K:

$$TPDA = TPDS \pm K \text{ Ecuación 10}$$

Donde el valor de K está definido por:

$$K = \frac{B\sigma}{\sqrt{n}} * \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \text{ Ecuación 11}$$

Donde:

N: Número de días en el año.  
 n: Número de días de conteo.  
 B: Valor adoptado por el coeficiente de confianza.  
 $\sigma$ : Desviación Estándar de la muestra.

$$B = \sqrt{\frac{1}{1-Nc}} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

Nc: Nivel de confianza.

Al utilizar las fórmulas y los datos tomados en campo se obtuvieron los valores presentados en la Tabla 3 y la Tabla 4, los cuales incluyen en el análisis las motos.

**Tabla 3. Valores obtenidos por el método propuesto por INVIAS (con motos)**

<b>MÉTODO 1 (INVIAS)</b>	
<b>Nivel de confianza</b>	95.00%
<b>Tamaño muestral</b>	3
<b>Días en el año</b>	365
<b>B</b>	4.47
<b>Desv muestra (S)</b>	1530
<b>K</b>	3939

**Tabla 4. Rangos de TPDA obtenidos (con motos)**

<b>RANGOS TPDA</b>	
MENOR	19,536
MAYOR	27,414

El rango obtenido con el método INVIAS con un 95% de confianza está definido por un límite inferior de 19,536 vehículos y uno superior de 27,414 vehículos incluyendo las motos.

Los resultados sin tener en cuenta las motos se presentan en la Tabla 5 y la Tabla 6. El rango obtenido con el método INVIAS con un 95% de confianza está definido por un límite inferior de 15,016 vehículos y uno superior de 18,338 vehículos sin incluir motos.

**Tabla 5. Valores obtenidos por el método propuesto por INVIAS (sin motos)**

<b>MÉTODO 1 (INVIAS)</b>	
<b>Nivel de confianza</b>	95.00%
<b>Tamaño muestral</b>	3
<b>Días en el año</b>	365
<b>B</b>	4.47
<b>Desv muestra (S)</b>	1453
<b>K</b>	3740

**Tabla 6. Rangos TPDA obtenidos (sin motos)**

<b>RANGOS TPDA</b>	
MENOR	12,449
MAYOR	19,930

#### **4.1.4 Estimación TPDA Cal y Mayor (distribución normal)**

A partir de las fórmulas propuestas por Cal y Mayor<sup>1</sup>, se define que es posible también obtener un rango de TPDA a partir del TPDS de la siguiente manera:

$$TPDA = TPDS \pm A \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde el valor de A está definido por:

$$A = KE \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

K: Numero de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confianza.

E: Error estándar de la media.

Para calcular el error estándar de la media se usa un estimador de la desviación estándar población.

$$E = \frac{S}{\sqrt{n}} * \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \quad \text{Ecuación 15}$$

---

<sup>1</sup> Rafael Cal y Mayor, James Cárdenas (2018). Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones. 9ª edición. Editorial Alfaomega.

Donde:

N: Número de días en el año.

n: Número de días de conteo.

S: Desviación estándar de la muestra.

Al utilizar las fórmulas y los datos tomados en campo se obtuvieron los siguientes valores:

**Tabla 7. Valores obtenidos por el método propuesto por Cal y Mayor (Normal, con motos)**

<b>MÉTODO 2 (NORMAL)</b>	
<b>Nivel de confianza</b>	95.00%
<b>K</b>	1.96
<b>Tamaño muestral</b>	3
<b>Días en el año</b>	365
<b>Desv muestra (S)</b>	1529.79
<b>Error estándar (E)</b>	880.79
<b>A</b>	<b>1726.36</b>

**Tabla 8. Rangos TPDA obtenidos con motos**

<b>RANGOS TPDA</b>	
MENOR	21,748
MAYOR	25,201

El rango obtenido con el método INVIAS con un 95% de confianza está definido por un límite inferior de 21,748 vehículos y uno superior de 25.201 vehículos incluyendo motos.

**Tabla 9. Valores obtenidos por el método propuesto por Cal y Mayor (Normal, sin motos)**

<b>MÉTODO 2 (NORMAL)</b>	
<b>Nivel de confianza</b>	95.00%
<b>K</b>	1.96
<b>Tamaño muestral</b>	3
<b>Días en el año</b>	365
<b>Desv muestra (S)</b>	1452.55

<b>Error estándar (E)</b>	836.32
<b>A</b>	<b>1639.19</b>

**Tabla 10. Rangos TPDA obtenidos sin motos**

<b>RANGOS TPDA</b>	
MENOR	14,550
MAYOR	17,829

El rango obtenido con el método INVIAS con un 95% de confianza está definido por un límite inferior de 14,550 vehículos y uno superior de 17,829 vehículos sin incluir motos.

#### **4.1.5 Estimación TPDA Cal y Mayor (distribución t-student)**

Otro enfoque propuesto en el libro mencionado anteriormente está relacionado a que los volúmenes de tránsito siendo una distribución normal no se les conoce ni la media poblacional (TPDA) ni su varianza  $\sigma^2$ , pero si se cuenta con el TPDS y  $S^2$ , que en este caso harían las veces de una media y varianza muestrales insesgada, obtenidas de una muestra aleatoria de tamaño  $n$ , por lo que es posible decir que:

$$T = \frac{TPDS - TPDA}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad \text{Ecuación 16}$$

Que tiene una distribución t de student con  $n-1$  grados de libertad. El estadístico T permite conseguir un intervalo de confianza para el TPDA a partir de la siguiente expresión:

$$TPDS - t_{\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} \leq TPDA \leq TPDS + t_{\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$t_{\alpha/2}$ : es el valor de la distribución con  $n-1$  grados de libertad, arriba del cual se obtiene un área de  $\alpha/2$ , siendo  $\alpha$  el nivel de significancia, lo cual es igual a  $1-Nc$ .

Al utilizar las fórmulas y los datos tomados en campo se obtuvieron los siguientes valores:

**Tabla 11. Valores obtenidos por el método propuesto por Cal y Mayor (T-Student, con motos)**

<b>MÉTODO 3 (T-STUDENT)</b>
-----------------------------

<b>Nivel de confianza</b>	95.00%
<b>Tamaño muestral</b>	3
<b><math>t(\alpha/2)</math></b>	4.30
<b>Desv muestra (S)</b>	1529.79
<b><math>t(\alpha/2)*S/\sqrt{n}</math></b>	3800.21

**Tabla 12. Rangos TPDA obtenidos con motos.**

<b>RANGOS TPDA</b>	
MENOR	19,675
MAYOR	27,275

El rango obtenido con el método INVIAS con un 95% de confianza está definido por un límite inferior de 19,675 vehículos y uno superior de 27,275 vehículos incluyendo motos.

**Tabla 13. Valores obtenidos por el método propuesto por Cal y Mayor (T-Student, sin motos)**

<b>MÉTODO 3 (T-STUDENT)</b>	
<b>Nivel de confianza</b>	95.00%
<b>Tamaño muestral</b>	3
<b><math>t(\alpha/2)</math></b>	4.30
<b>Desv muestra (S)</b>	1452.55
<b><math>t(\alpha/2)*S/\sqrt{n}</math></b>	3608.33

**Tabla 14. Rangos TPDA obtenidos sin motos**

<b>RANGOS TPDA</b>	
MENOR	12,581
MAYOR	19,798

El rango obtenido con el método INVIAS con un 95% de confianza está definido por un límite inferior de 12,581 vehículos y uno superior de 19,798 vehículos sin incluir motos.

## **4.2 DISEÑO GEOMÉTRICO**

Para realizar el diseño geométrico se seguirá la metodología propuesta por el INVIAS en el manual de diseño geométrico para carreteras (2008).

Como se menciona en el manual la solución a diseñar estará asociada a factores como la topografía del sitio, características geométricas de las carreteras que se cruzan y las condiciones de flujo vehicular. Además, el manual pretende presentar los datos de forma organizada según los criterios geométricos básicos.

### **4.2.1 Diseño horizontal**

- Establecimiento de alineaciones horizontales, incluyendo curvas y tangentes.
- Cálculo de radios mínimos de curvatura, peraltes y transiciones de curvas. Ver tabla

### **4.2.2 Diseño vertical**

- Determinación de perfiles verticales, que incluyen pendientes, curvas cóncavas y convexas.
- Cálculo de longitudes de visibilidad para garantizar la seguridad en la carretera.
- Diseño de cruces a diferentes niveles, pasos a desnivel y accesos.

### **4.2.3 Sección transversal**

- Definición de la sección transversal de la carretera, incluyendo el número de carriles, anchura de calzada, bermas, cunetas y otros elementos.
- Consideración de la geometría de la carretera en curvas y pendientes.

## **4.3 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)**

La identificación de costos asociados a la construcción y mantenimiento de vías, considerando factores como la topografía, el tipo de pavimento, la longitud y la capacidad de carga esperada, las obras hidráulicas, obras de contención con esto se debe hacer la evaluación de riesgos y la estimación de costos contingentes son elementos esenciales para evitar desviaciones presupuestarias.

Los APU es el tipo de contratación más común en Colombia, este consta de una metodología que descompone los costos directos de una actividad, en esta se describen las principales características de los elementos que se requieren para realizar exitosamente la actividad: Unidad de medida, cantidad aproximada y el precio por unidad de medida o precio unitario. (Villegas, 2021).

Los APU se descomponen en varias partes para conocer qué es lo que va a generar un costo dentro de la actividad, las partes son las siguientes:

- Mano de obra
- Equipos
- Materiales
- Transporte
- AIU (No hacen parte del costo directo, pero se deben tener en cuenta).

Para cada una de las partes, excepto el AIU (Administración, imprevistos Utilidad), es posible calcular el costo. Por parte de la mano de obra se requiere conocer cuantas personas integran la cuadrilla, su rendimiento en dicha actividad, prestaciones y salario. Para la maquinaria se tiene un análisis similar, donde se toma la tarifa horaria de la máquina y su rendimiento, el transporte y materiales depende de su costo unitario, mientras que el AIU se determina en porcentajes según el proyecto.

Para conocer el costo total se debe realizar una suma de subtotales, si se eliminan los valores de AIU se tendría el costo directo de la obra.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 DIAGNOSTICO DEL CORREDOR Y ESTUDIO DE TRANSITO

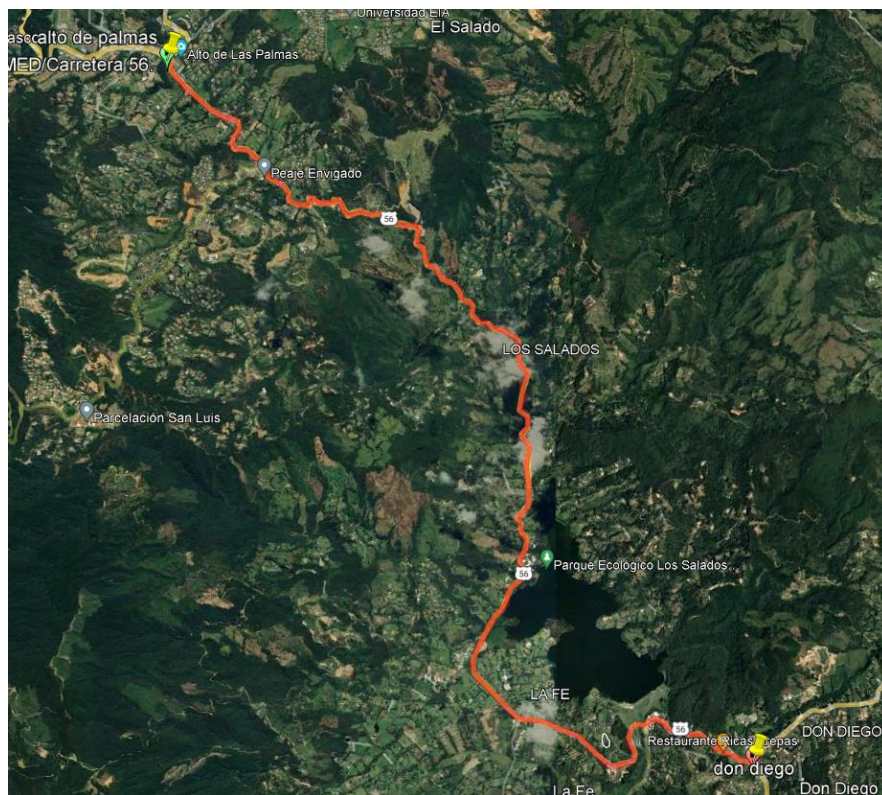
Para este estudio se realizó la recopilación de información primaria y secundaria necesaria para conocer la demanda del tránsito actual y usarla como base para las proyecciones de demanda y para realizar los análisis de capacidad y niveles de servicio.

Para determinar la metodología a seguir se consideraron las características particulares del proyecto, el cual se desarrollará en la zona suburbana del municipio de los municipios de El Retiro y Envigado.

El alcance general del proyecto es el desdoblamiento de la calzada existente entre el Alto de Las Palmas y la glorieta de Don Diego. En la Tabla 15 se presentan las características del proyecto y en la Figura 3 Zona de influencia del proyecto se observa la red vial del área de influencia.

**Tabla 15. Características del proyecto**

Característica	Descripción
Longitud aproximada	12.71 km
Tipo	Desdoblamiento
Velocidad de diseño	50
Intersecciones	N/A
Vías que afecta	56AN01






**Figura 3 Zona de influencia del proyecto Alto de palmas – Don Diego**

### **5.1.1 Levantamiento de información de campo**

Con el objeto de conocer las actuales condiciones de tráfico se realizaron conteos de tráfico por medio de filmaciones de video con su posterior conteo y clasificación en oficina. Dadas las características del proyecto, el cual consiste en el desdoblamiento de 12.71 km, se localizó una estación de conteo en el intermedio del proyecto en el sector de él parque ecológico los salados. La instalación de las cámaras se realizó considerando que no se localicen en los extremos del tramo, ni en o cerca de peajes, estaciones de servicio, intersecciones, glorietas, talleres de obras, ni en casco urbanos, ni en curvas. Además, con el objeto de lograr una imagen adecuada, se constató que con el ángulo de visión no se presente refracción de las luces de los vehículos en horas de la noche, y que permita identificar adecuadamente los vehículos.

En la Tabla 16 se presenta la ficha técnica de la estación de conteo.

**Tabla 16. Ficha Técnica estación de conteo**

FECHA TÉCNICA ESTACIÓN DE CONTEO	
<b>CÓDIGO VÍA</b>	56AN-01
<b>TRAMO VÍA</b>	Palmas - La Unión
<b>ABSCISAS APROXIMADA</b>	Km10+380 - Km 23+090
<b>NUMERO DE CALZADAS</b>	1 (Bidireccional)
<b>MOVIMIENTOS VEHICULARES</b>	2 (Palmas - Don Diego, Don Diego - Palmas)
<b>SEPARADOR (SI/NO)</b>	No
<b>OBSERVACIONES</b>	Se colocan 2 Cámaras, 1 para cada movimiento
<b>UBICACIÓN</b>	75°30'12.16"O 6° 5'48.55"N
	
	
Cámara sentido Palmas - La Fe	Cámara sentido La Fe - Palmas

Los datos se tomaron durante las 24 horas de dos días típicos durante la semana 27 y 28 de julio de 2023 y durante un día del fin de semana el día 29 de julio de 2023.

En oficina, los conteos se realizaron clasificándolos de acuerdo con el tipo de vehículos (livianos, buses, camiones, motocicletas, peatones, bicicletas). En el caso de camiones se discriminó por número de ejes (C-2 pequeño, C-2 grande, C-3, C-4, C-5 y mayor a C-5).

Teniendo en cuenta que el proyecto se desarrolla en la zona suburbana de los municipios de Envigado y El retiro, para este proyecto se identificó, a partir de visitas de campo y revisión del material de video para los conteos, la necesidad de contabilizar las motocicletas, debido a que estas corresponden a un porcentaje importante de vehículos dentro de la zona. Por otra parte, se identificó que las bicicletas no tienen una porción significativa dentro de la distribución modal en la zona del proyecto, por lo que no serán cuantificadas dentro de este estudio.

La información de los conteos se registró en formatos en intervalos de 15 minutos para las 24 horas de cada uno de los 3 días. Se realizaron validaciones aleatorias de la información para asegurar que estas presenten un nivel de confiabilidad de al menos el 95%.

Debido a que el proyecto comprende el desdoblamiento de un tramo de la vía actual La Vía Palmas – Don Diego la cual se encuentra en buen estado y no contempla la construcción de vías nuevas, no aplica realizar encuestas origen-destino, ni encuestas de disposición a pagar y/o encuestas de preferencias declaradas, ni estudio de velocidades.

### **5.1.2 Información secundaria**

De acuerdo con la particularidad del área de influencia del proyecto, para este estudio se recopiló información secundaria relacionada con volúmenes vehiculares, y la cual corresponde a la estación de conteo 362 del Inviás, ubicada en la vía en estudio. Además, para analizar el crecimiento del tráfico se recopiló también información de volúmenes vehiculares del peaje Las Palmas.

También se recopiló información de crecimiento poblacional y del PIB nacional y regional.

### **5.1.3 Estimación TPD y proyecciones**

A partir de la información recolectada previamente, se llevaron a cabo los procesos necesarios para estimar el Tráfico Promedio Diario (TPD), considerando tanto vehículos mixtos como un desglose por tipología de vehículo. Esta categorización se realizó según el número de ejes (livianos, buses y camiones: C2P, C2G, C3, C4 y mayor a C5) o según su tipo (livianos, buses, camiones, motocicletas).

La proyección del TPD implicó la definición de la tasa de crecimiento, la cual se determinó a través del análisis de la información secundaria previamente mencionada, que incluyó registros del Inviás, datos del peaje Palmas, crecimiento poblacional y crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB).

Adicionalmente, se llevaron a cabo proyecciones detalladas de los volúmenes de tráfico durante las horas de máxima demanda. Este análisis abarcó el estudio de la demanda vehicular en cada sentido de manera individual y total, proporcionando una visión integral y precisa de la dinámica del tráfico en la zona del proyecto.

#### 5.1.4 Análisis de capacidad y niveles de servicio

El análisis de la capacidad y nivel de servicio se realizó siguiendo la metodología establecida en el “Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles” para evaluar la condición sin proyecto (calzada sencilla) (INVIAS, 2022), y el “Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril” para evaluar la condición con proyecto (calzada doble con dos carriles por sentido) (INVIAS, 2022). Estos manuales corresponden a los adoptados por el Ministerio de Transporte con la Resolución No. 20223040024795 del 6 de mayo de 2022, y la metodología que presentan es la planteada en el del Manual de Capacidad y Niveles de Servicio del Estados Unidos de América (denominado por sus siglas en inglés HCM) adaptada a las condiciones de operación de Colombia (INVIAS, 2022). A continuación, se describe la metodología para las dos situaciones.

#### 5.1.5 Vías de dos carriles

Para el cálculo de la capacidad en vías de dos carriles se parte de los datos geométricos de la vía: ancho de carril, ancho de berma, tipo de terreno (pendiente), y porcentaje de zonas de no rebase. También de datos operacionales o relativos al tránsito: volumen total en ambos sentidos, porcentaje de tránsito en ascenso (distribución direccional) y porcentaje de vehículos pesados.

A partir de los datos anteriores, se determinan los factores de ajuste de la capacidad en condiciones ideales. En Colombia, una carretera de dos carriles, su capacidad ideal  $C_i$ , es de 3200 vehículos/hora/ambos sentidos. A partir de los factores de corrección, que reflejan el grado en que no se cumplen las condiciones ideales, se transforma esa capacidad ideal en capacidad para las condiciones estudiadas. Estos factores son relativos a: pendiente ( $F_{pe}$ , Tabla 17), distribución de tránsito por sentidos ( $F_d$ , Tabla 18), anchos de carril y berma utilizable ( $F_{cb}$ , Tabla 19, y presencia de vehículos pesados ( $F_p$ , Tabla 20). Los factores determinados a partir de las Tablas del manual a se aplican entonces para multiplicar el valor de  $C_i$  para calcular la Capacidad ( $C_{60}$ ) expresada por el volumen mixto máximo que puede circular durante la hora pico sin causar congestión:

$$C_{60} = 3200 * F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p ; \text{ donde } F_p = \frac{1}{1 - (\%B + \%C)(E_c - 1)}$$

**Ecuación 18**

**Tabla 17. Factores de corrección a la capacidad por pendiente (Fpe)**

Pendiente	Longitud de la pendiente (km)											
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
2	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
3	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
4	0.98	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
5	0.98	0.95	0.94	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91
6	0.97	0.95	0.92	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9	0.89	0.89	0.89	0.89
7	0.96	0.93	0.91	0.89	0.89	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86
8	0.96	0.92	0.89	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
9	0.94	0.89	0.85	0.83	0.82	0.81	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
10	0.92	0.85	0.81	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74
11	0.9	0.81	0.76	0.73	0.72	0.71	0.7	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68
12	0.87	0.76	0.71	0.68	0.67	0.64	0.64	0.63	0.63	0.61	0.61	0.61

Fuente: Tabla 1. Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Invías, 2022.

**Tabla 18. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Fd)**

Distribución por sentidos (% en ascenso)	% de zonas de no rebase					
	0	20	40	60	80	100
50	1	1	1	1	1	1
60	0.9	0.89	0.87	0.86	0.85	0.83
70	0.82	0.8	0.78	0.76	0.74	0.71
80	0.75	0.72	0.7	0.67	0.65	0.63
90	0.69	0.66	0.64	0.61	0.58	0.56
100	0.64	0.61	0.58	0.56	0.53	0.5

Fuente: Tabla 2. Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Invías, 2022.

**Tabla 19. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (Fcb)**

Ancho de carril (m)				
Berna	3.65	3.5	3.3	3
1.8	1	0.99	0.98	0.96
1.5	0.99	0.99	0.98	0.95
1.2	0.99	0.98	0.97	0.95
1	0.99	0.98	0.97	0.94
0.5	0.98	0.97	0.96	0.93
0	0.97	0.96	0.95	0.92

Fuente: Tabla 3. Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Invías, 2022.

**Tabla 20. Equivalentes camión (Ec)**

Equivalentes camión factor de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Ec)															
Pendiente ascendente %	Longitud de pendiente (km)	Porcentaje de vehículos pesados (buses más camiones)						Pendiente ascendente %	Longitud de pendiente (km)	Porcentaje de vehículos pesados (buses más camiones)					
		10	20	30	40	50	60			10	20	30	40	50	60
0	0.5	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47	6	3	4.16	2.94	2.5	2.29	2.17	2.07
0	1	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47	6	4	4.33	2.94	2.57	2.35	2.17	2.11
0	1.5	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47	6	5	4.33	3.04	2.64	2.01	2.23	2.16
0	2	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47	7	0.5	2.24	2.1	1.94	1.88	1.82	1.78
0	3	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47	7	1	3.82	2.76	2.36	2.23	2.13	2.07
0	4	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47	7	1.5	4.16	2.94	2.57	2.35	2.23	2.16
0	5	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47	7	2	4.51	3.14	2.64	2.47	2.33	2.26
1	0.5	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47	7	3	4.89	3.35	2.64	2.6	2.45	2.31
1	1	1.64	1.62	1.54	1.51	1.5	1.5	7	4	5.08	3.46	2.88	2.67	2.51	2.36
1	1.5	1.75	1.68	1.59	1.55	1.5	1.5	7	5	5.08	3.46	2.96	2.67	2.51	2.42
1	2	1.87	1.75	1.59	1.55	1.53	1.53	8	0.5	2.49	2.17	2.05	1.92	1.86	1.82
1	3	1.99	1.75	1.63	1.55	1.53	1.53	8	1	4.16	2.94	2.57	2.35	2.23	2.16
1	4	1.99	1.75	1.63	1.59	1.56	1.56	8	1.5	4.7	3.25	2.79	2.53	2.39	2.31
1	5	2.11	1.75	1.68	1.59	1.56	1.56	8	2	5.08	3.46	2.96	2.67	2.51	2.48
2	0.5	1.64	1.56	1.59	1.51	1.5	1.5	8	3	5.49	3.69	3.13	2.81	2.64	2.48
2	1	1.75	1.68	1.59	1.55	1.53	1.53	8	4	5.71	3.81	3.22	2.89	2.7	2.54
2	1.5	1.87	1.68	1.63	1.59	1.53	1.53	8	5	5.93	3.94	3.22	2.96	2.77	2.6
2	2	2.11	1.81	1.68	1.63	1.56	1.56	9	0.5	2.63	2.33	2.17	2.02	1.94	1.9
2	3	2.36	1.88	1.73	1.66	1.63	1.62	9	1	4.51	3.14	2.64	2.41	2.33	2.21
2	4	2.49	1.95	1.78	1.71	1.67	1.65	9	1.5	5.08	3.46	2.88	2.67	2.51	2.36
2	5	2.63	2.02	1.83	1.75	1.7	1.65	9	2	5.29	3.58	3.04	2.74	2.57	2.48
3	0.5	1.64	1.62	1.63	1.59	1.56	1.56	9	3	5.71	3.81	3.22	2.89	2.7	2.6
3	1	1.87	1.75	1.68	1.63	1.6	1.56	9	4	5.93	3.94	3.32	2.96	2.77	2.67
3	1.5	2.24	1.88	1.78	1.71	1.67	1.62	9	5	6.15	4.06	3.41	3.05	2.85	2.67
3	2	2.49	2.02	1.83	1.75	1.7	1.68	10	0.5	3.05	2.58	2.3	2.18	2.08	2.16
3	3	2.63	2.1	1.89	1.79	1.74	1.71	10	1	5.29	3.58	3.04	2.74	2.57	2.54
3	4	2.76	2.17	1.94	1.83	1.78	1.71	10	1.5	5.71	3.81	3.13	2.81	2.64	2.67
3	5	2.9	2.25	1.94	1.83	1.78	1.75	10	2	6.15	4.06	3.41	3.05	2.85	2.81
4	0.5	1.75	1.68	1.68	1.63	1.63	1.59	10	3	6.38	4.2	3.51	3.13	2.92	2.88
4	1	2.24	2.02	1.83	1.75	1.7	1.68	10	4	6.63	4.33	3.62	3.22	3	2.96
4	1.5	2.9	2.17	2	1.88	1.78	1.75	10	5	6.87	4.47	3.73	3.31	3.08	3.04
4	2	3.05	2.33	2.05	1.92	1.86	1.78	11	0.5	3.66	2.94	2.57	2.35	2.23	2.16
4	3	3.2	2.41	2.11	2.02	1.94	1.86	11	1	5.49	3.69	3.13	2.81	2.64	2.54
4	4	3.35	2.49	2.17	2.02	1.94	1.9	11	1.5	6.15	4.06	3.41	3.05	2.85	2.67
4	5	3.5	2.49	2.23	2.07	1.99	1.94	11	2	6.63	4.33	3.51	3.13	2.92	2.81
5	0.5	1.87	1.81	1.73	1.71	1.67	1.62	11	3	6.87	4.47	3.73	3.31	3.08	2.88
5	1	2.76	2.25	2	1.88	1.82	1.75	11	4	7.13	4.62	3.84	3.4	3.17	2.96
5	1.5	3.2	2.41	2.11	2.02	1.9	1.9	11	5	7.39	4.77	3.96	3.5	3.26	3.04
5	2	3.5	2.49	2.23	2.07	1.99	1.98	12	0.5	3.99	3.25	2.79	2.53	2.39	2.31
5	3	3.66	2.67	2.3	2.12	2.03	1.98	12	1	6.15	4.06	3.32	3.05	2.85	2.67
5	4	3.82	2.76	2.36	2.18	2.08	2.02	12	1.5	6.63	4.33	3.62	3.22	3	2.81
5	5	3.99	2.76	2.43	2.23	2.13	2.02	12	2	7.13	4.62	3.73	3.31	3.08	2.96
6	0.5	2.11	1.95	1.89	1.79	1.74	1.71	12	3	7.39	4.77	3.96	3.5	3.17	3.04
6	1	3.35	2.49	2.23	2.07	1.99	1.9	12	4	7.67	4.93	3.96	3.6	3.26	3.12
6	1.5	3.66	2.67	2.36	2.18	2.08	1.98	12	5	7.95	5.09	4.08	3.6	3.35	3.21
6	2	3.99	2.76	2.43	2.23	2.13	2.02								

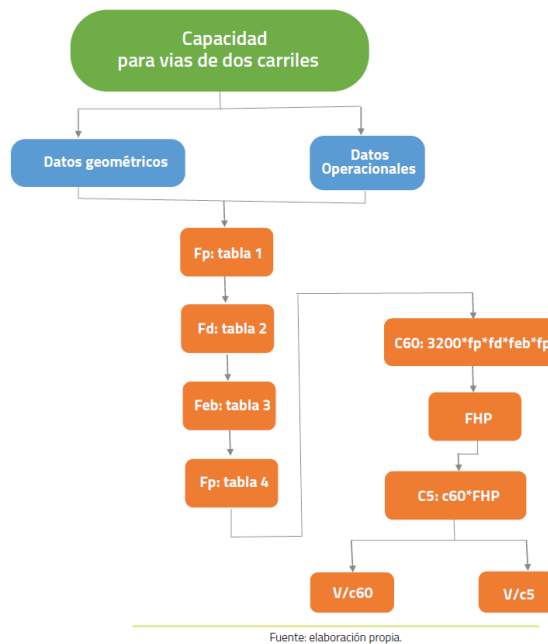
Fuente: Tabla 4. Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Invías, 2022.

Posteriormente, se multiplica el valor de C60 por el factor de hora pico (FPH) para obtener la capacidad C5, expresada por el volumen mixto máximo que debe circular durante la hora pico para que, normalmente, no se produzca congestión durante el período de cinco minutos de mayor tránsito de esa hora. El FPH se toma de la Tabla 21. En la Figura 4 se presenta un esquema para el cálculo de la capacidad.

**Tabla 21. Factores pico basados en períodos de cinco minutos suponiendo llegadas de vehículos aleatorias (FPH)**

Volumen horario total Veh/h (C60)	Factor de pico horario	Volumen horario total Veh/h (C60) 2	Factor de pico horario 2
100	0.68	1400	0.89
200	0.7	1600	0.9
300	0.72	1800	0.92
400	0.74	2000	0.93
600	0.78	2200	0.95
800	0.81	2400	0.95
1000	0.84	2600	0.96
1200	0.86	2800	0.97

Fuente: Tabla 5. Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Inviás, 2022.



**Figura 4 Cálculo capacidad y nivel de servicio calzada sencilla**

Fuente: Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Inviás, 2022.

El cálculo del nivel de servicio, en este caso donde la vía es un tramo con circulación normal en cuanto a superficie de rodadura, empieza por encontrar la velocidad de los automóviles a flujo libre en condiciones ideales con la Tabla 22 a partir de la inclinación de la pendiente ascendente en estudio y su longitud (V1).

**Tabla 22. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes (V1)**

PEND. ASC. %	Longitud de la pendiente (km)											
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
1	88	86	86	86	85	85	85	85	85	85	85	85
2	86	82	81	81	80	80	80	80	80	80	80	80
3	83	79	77	76	75	75	75	75	75	75	75	75
4	82	77	74	72	70	70	69	69	69	69	68	68
5	81	74	70	68	66	66	65	65	64	64	64	64
6	80	73	67	65	63	62	61	61	60	60	60	60
7	78	69	63	60	59	56	55	55	54	54	54	54
8	76	66	60	55	54	52	51	51	50	50	49	49
9	70	59	52	49	48	46	44	44	43	43	43	43
10	66	52	46	42	41	40	39	38	38	37	37	37
11	61	46	39	38	35	34	33	31	31	30	30	30
12	55	39	34	30	29	27	27	26	26	25	25	25

Fuente: Tabla 6, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Inviás, 2022.

Posteriormente, se determina el factor de corrección por efecto del factor de utilización (fu) de la Tabla 23, conociendo la relación entre el volumen de la vía Q (vehículos/hora), y la capacidad a sesenta minutos (C60) calculada anteriormente. También se determina el factor de corrección por efecto combinado del ancho de carril y berma (fcb) de la Tabla 24. A partir de los anteriores factores de corrección se calcula V2 de la siguiente manera:

$$V2=V1*fu*fcb \quad \text{Ecuación 19}$$

**Tabla 23. Factores de corrección al Nivel de Servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (fu)**

Relación Volumen-Capacidad Q/C60	Factor de corrección fu
0.1	0.99
0.2	0.98
0.3	0.96
0.4	0.92
0.5	0.87
0.6	0.82
0.7	0.75
0.8	0.68
0.9	0.59
1	0.5

Fuente: Tabla 7, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Invías, 2022.

**Tabla 24. Factores de corrección al Nivel de Servicio por el efecto combinado del ancho del carril y berma (fcb)**

Ancho de la berma (m)	Ancho de carril (m)				
	3.65	3.5	3.3	3	2.7
1.8	1	0.97	0.93	0.85	0.73
1.5	0.98	0.95	0.91	0.83	0.71
1.2	0.96	0.93	0.89	0.81	0.7
1	0.95	0.92	0.88	0.8	0.69
0.5	0.91	0.88	0.84	0.76	0.66
0	0.88	0.85	0.81	0.73	0.63

Fuente: Tabla 8, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Invías, 2022.

A continuación, para calcular la velocidad del tramo en estudio  $V_M$ , se determinan los factores de corrección por la presencia de vehículos pesados ( $f_p$ ) y por tortuosidad del tramo en estudio, de acuerdo con Tabla 25 y la Tabla 26 respectivamente:

$$f_p = 1 / (1 + \%C(Ec - 1)) ; V_M = V_2 * f_p * f_t \quad \text{Ecuación 20}$$

**Tabla 25 Equivalentes camión para corrección al nivel de servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (fp)**

Tipo de terreno	Longitud de la pendiente (km)	Velocidad de autos (V2) (km/h)	Porcentaje de vehículos pesados									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	2	70	6.16	3.88	3.04	2.63	2.38	2.20	2.06	1.95	1.88	1.81
	2	80	7.17	4.41	3.40	2.91	2.60	2.39	2.23	2.10	2.01	1.93
	2.5	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	2.5	30	1.19	1.20	1.20	1.22	1.22	1.22	1.21	1.20	1.20	1.19
	2.5	40	2.53	1.99	1.75	1.64	1.57	1.51	1.46	1.43	1.40	1.38
	2.5	50	4.04	2.78	2.29	2.05	1.91	1.80	1.71	1.64	1.60	1.56
	2.5	60	5.25	3.41	2.72	2.38	2.18	2.02	1.91	1.82	1.76	1.70
	2.5	70	6.31	3.96	3.09	2.67	2.41	2.22	2.09	1.97	1.90	1.83
	2.5	80	7.17	4.41	3.40	2.91	2.60	2.39	2.23	2.10	2.01	1.93
	3	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	3	30	1.23	1.22	1.22	1.23	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.19
	3	40	2.53	1.99	1.75	1.64	1.57	1.51	1.46	1.43	1.40	1.38
	3	50	4.04	2.78	2.29	2.05	1.91	1.80	1.71	1.64	1.60	1.56
	3	60	5.33	3.45	2.74	2.40	2.19	2.04	1.92	1.83	1.77	1.71
	3	70	6.31	3.96	3.09	2.67	2.41	2.22	2.09	1.97	1.90	1.83
	3	80	7.17	4.41	3.40	2.91	2.60	2.39	2.23	2.10	2.01	1.93
	3.5	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	3.5	30	1.23	1.22	1.22	1.23	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.19
	3.5	40	2.62	2.04	1.79	1.67	1.59	1.53	1.48	1.44	1.41	1.39
	3.5	50	4.09	2.80	2.30	2.07	1.92	1.80	1.72	1.65	1.60	1.56
	3.5	60	5.33	3.45	2.74	2.40	2.19	2.04	1.92	1.83	1.77	1.71
	3.5	70	6.40	4.01	3.12	2.70	2.43	2.24	2.10	1.99	1.91	1.84
	3.5	80	7.25	4.45	3.43	2.93	2.62	2.40	2.24	2.11	2.02	1.94
	4	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	4	30	1.23	1.24	1.23	1.24	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
	4	40	2.67	2.07	1.80	1.68	1.60	1.54	1.49	1.45	1.42	1.39
	4	50	4.16	2.84	2.33	2.09	1.93	1.82	1.73	1.66	1.61	1.57
	4	60	5.40	3.49	2.77	2.42	2.21	2.05	1.94	1.84	1.78	1.72
	4	70	6.49	4.05	3.15	2.72	2.45	2.26	2.12	2.00	1.92	1.85
	4	80	7.35	4.50	3.46	2.95	2.64	2.42	2.26	2.13	2.03	1.95
	4.5	20	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	4.5	30	1.23	1.24	1.23	1.24	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20

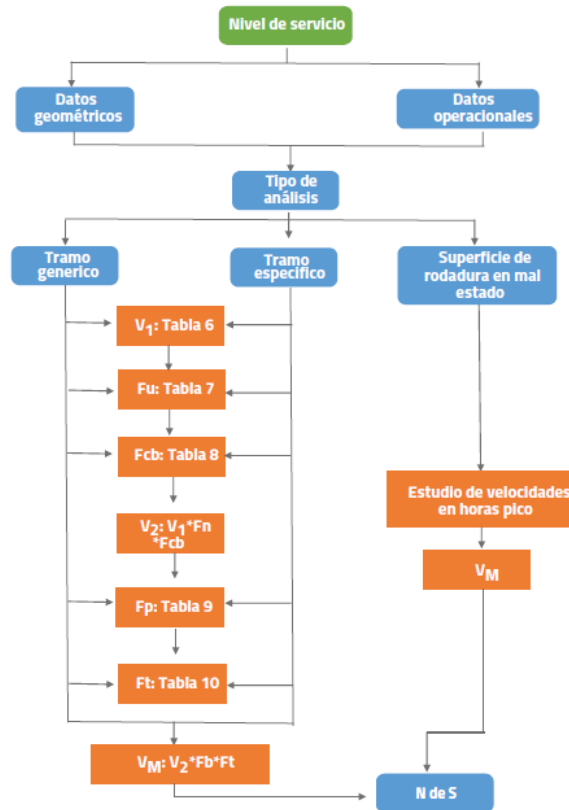
Fuente: Tabla 9, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Invías, 2022.

**Tabla 26. Factor de corrección al Nivel de Servicio por efecto de la tortuosidad (ft)**

Pendiente (%)	Tortuosidad (°/km)	ft
0	<=40	1.00
<2.5	<110	0.99
<4	<200	0.99
<6	<400	0.98
<8	<800	0.97

Fuente: Tabla 10, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Invías, 2022.

Por último, para determinar el nivel de servicio se calcula el porcentaje que se ha perdido con referencia a la velocidad ideal de 80 km/h y con el tipo de terreno se aplica la Tabla 27 para hallar el nivel de servicio correspondiente. La Figura 5 presenta un esquema del anterior proceso de cálculo.



**Figura 5 Esquema para la determinación del Nivel de Servicio**

Fuente: Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Inviás, 2022.

**Tabla 27. Definición de Nivel de Servicio con base en la relación  $V_M/V_1*100$**

Tipo de terreno	Nivel de Servicio					
	A	B	C	D	E	F
Plano	>92 %	92 %-80 %	80 %-69 %	69 %-58 %	58 %-47 %	<47 %
Ondulado	>76 %	76 %-66 %	66 %-57 %	57 %-48 %	48 %-38 %	<38 %
Montañoso	>58 %	58 %-50 %	50 %-43 %	43 %-37 %	37 %-29 %	<29 %
Escarpado	>40 %	40 %-34 %	34 %-30 %	30 %-26 %	26 %-20 %	<20 %

Fuente: Tabla 11, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles, Inviás, 2022.

### 5.1.6 Vías multicarril

Al igual que para las carreteras de dos carriles, para el cálculo de la capacidad en vías multicarril se parte de datos geométricos de la vía y de datos operacionales.

El método se basa en la velocidad base a flujo libre o velocidad genérica (VG), la cual se corrige por el tipo de separador, ancho de carril, espacio libre lateral y densidad de accesos laterales, para hallar velocidad a flujo libre (VL). La velocidad genérica es la velocidad característica de la carretera teniendo en cuenta el trazado horizontal y vertical bajo un criterio de consistencia geométrica, se determina a partir del tipo de carretera por medio de la Tabla 28. Los factores de corrección se hallan según la Tabla 29, Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32.

**Tabla 28. 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, accesos controlados, sin peatones.	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	60

Fuente: Tabla 11, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril, Inviás, 2022.

Las correcciones por el alejamiento de la condición base se hacen restando valores de corrección a la velocidad de flujo libre:

$$VL = VG - fc - fs - fb - fa \quad \text{Ecuación 21}$$

**Tabla 29. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho de carril (fc)**

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

Fuente: Tabla 12, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril, Invías, 2022.

**Tabla 30. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (fs)**

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

Fuente: Tabla 13, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril, Invías, 2022.

**Tabla 31. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (fb)**

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

Fuente: Tabla 14, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril, Invías, 2022.

Tabla 32. Ajuste de la velocidad genérica por efecto de la densidad de accesos (fa)

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

Fuente: Tabla 15, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril, Invías, 2022.

Con el resultado de la VL calculada anteriormente se aproxima a la velocidad de flujo libre de una de las cuatro curvas maestras de referencia, y esta será la curva flujo-velocidad que se tomará para el tramo. Los coeficientes de las ecuaciones para cada tipo de multicarril se presentan en la Tabla 33, y las ecuaciones adoptadas por el manual tienen la forma funcional:

$$v = vf - a * \left(\frac{vp}{b}\right)^c \quad \text{Ecuación 22}$$

Tabla 33. Coeficientes de las ecuaciones flujo-velocidad

Tipo de curva	vf	a	b	c
Multicarril tipo 1 96 km/h	96	4.609	1124.526	1.624
Multicarril tipo 1 90 km/h	90	1.040	882.082	2.545
Multicarril tipo 1 80 km/h	80	2.375	1036.550	2.044
Multicarril tipo 1 70 km/h	70	5.497	692.345	1.010

Fuente: Tabla 16, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril, Invías, 2022.

El volumen de tránsito mixto (V) se convierte en flujo vehicular (Vp), mediante la siguiente ecuación:

$$Vp = \frac{v}{FHP * N * fhv * fp} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde,

$V_p$ , es el flujo de tránsito en veh/h/carril ( $q_p$ )

$V$ , es el volumen de tránsito mixto, en veh/h/sentido

FHP, es el factor de hora pico

$N$ , es el número de carriles

$f_p$ , es el factor por conocimiento de la vía (1.00 para conductores frecuentes y 0.90 para conductores ocasionales).

$f_{hv}$ , es el factor de corrección por camiones se calcula a partir del porcentaje de camiones ( $P_c$ ) y el factor de equivalencia de camiones ( $E_c$ ) así:

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + P_c(E_c - 1)} \quad \text{Ecuación 24}$$

Para estimar el factor de equivalencia de camiones ( $E_c$ ) se tienen en cuenta el tipo de terreno y las rampas. Cuando corresponde a terreno genérico se utilizan los equivalentes indicados en la Tabla 34.

**Tabla 34. 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: Tabla 17, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril, Invías, 2022.

Para tipos de terreno con pendientes ascendentes sostenidas, el  $E_c$  se presentan en la Tabla 18 del Manual, y para terrenos con rampas en descenso sostenidas en la Tabla 19 del Manual.

A continuación, con la selección de la curva flujo-velocidad de tramo (donde  $v_f$ ,  $a$ ,  $b$  y  $c$  son los indicados en la Tabla 33) y el flujo  $V_p$  calculado, se obtiene la velocidad de operación ( $v$ ) y la densidad ( $D$ ) en el sector de análisis.

$$D = \frac{V_p}{v} \quad \text{Ecuación 25}$$

Finalmente, el nivel de servicio se determina a partir de la densidad calculada utilizando la Tabla 35.

**Tabla 35. Niveles de servicio para carreteras multicarril en Colombia**

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

Fuente: Tabla 20, Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril, Invias, 2022.

## 5.2 DISEÑO GEOMÉTRICO

### 5.2.1 Trabajos topográficos

Los trabajos topográficos fueron ejecutados conforme a las precisiones y requisitos detallados en la Norma Técnica Colombiana NTC 6271, así como en concordancia con las normativas del IGAC y EAB NS-030 (Universal Distrital Francisco Jose de Caldas, 2013). La georreferenciación se llevó a cabo mediante el empleo del sistema GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite), utilizando receptores satelitales de última generación.

Para el posicionamiento geodésico, se implementó un enfoque estático con equipos GNSS multifrecuencia L1/L2 de fase portadora completa y código, abarcando múltiples constelaciones como GPS, GLONASS y GALILEO. La elección de receptores de doble frecuencia se realizó con el propósito de obtener una precisión mejorada en cada uno de los vectores, alineándose con los estándares establecidos por el IGAC y EAB NS-030.

Una vez identificados los vértices clave del eje del proyecto, los equipos GNSS fueron configurados simultáneamente en cada uno de ellos. Es imperativo asegurar la certeza de que las bases seleccionadas para el cálculo o postproceso se encuentren activas y operativas de manera continua durante todo el proceso.

En cuanto al control horizontal, se utilizaron las coordenadas de las estaciones permanentes (CORS) del IGAC y de INGEOMINAS. Estos valores de coordenadas fueron descargados de la página web [www.sirgas.org](http://www.sirgas.org), proporcionando un sólido punto de referencia para garantizar la coherencia y precisión necesarias en los datos geospaciales obtenidos.

La integración del sensor LiDAR con el dron desempeñó un papel fundamental en la ejecución exitosa del levantamiento topográfico. Esta amalgama tecnológica permitió la determinación meticulosa de la posición y orientación del sensor LiDAR a lo largo de la operación. La obtención precisa de la información de posición, abarcando latitud, longitud y altura, se llevó a cabo gracias a la utilización de Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS). Simultáneamente, una Unidad de Medición Inercial (IMU) ejerció un control detallado sobre los movimientos del dron, corrigiendo aspectos cruciales como cabeceo, alabeo y guiñada para garantizar la exactitud de las mediciones.

La fase subsiguiente implicó la fusión de los datos recopilados durante el vuelo del dron con la información proporcionada por el GNSS y la IMU. Este conjunto de datos combinado fue sometido a un proceso de triangulación, dando como resultado la generación de una nube de puntos tridimensional. Previamente a la ejecución del levantamiento, se desarrolló un plan de vuelo detallado mediante el uso de software especializado en la planificación de rutas, estableciendo así una estrategia metódica para la adquisición de datos.

Antes de la fase principal de captura de datos LiDAR con el dron DJI Matrice 200 equipado con el sistema Velodyne Puck, se llevó a cabo un recorrido exploratorio inicial utilizando un dron Phantom 4 Pro. Este paso adicional se implementó con el propósito de verificar la seguridad de la ruta planificada, asegurando condiciones óptimas para el despliegue exitoso del dron principal.

La sincronización precisa de los tiempos entre el LiDAR y un receptor GNSS en tierra durante la captura de datos fue un componente crítico del proceso. Esta coordinación simultánea facilitó enormemente el posterior postproceso de los datos recopilados, asegurando coherencia y cohesión en los resultados obtenidos. En conjunto, este enfoque integral y coordinado no solo permitió la obtención de información detallada y precisa del área de estudio mediante la avanzada tecnología LiDAR, sino que también contribuyó de manera significativa a la calidad y confiabilidad de los resultados finales en el marco de este proyecto.



**Figura 6. Equipo lidar utilizado para la medición del proyecto**

Fuente: propia

Utilizando los programas especializados licenciados, se realizó la unificación de la información LiDAR (puntos Laser, trayectoria, GPS, elevación, ubicación) para con esta, realizar la limpieza y clasificación de puntos que puedan haber quedado en la etapa de toma de datos, garantizando que la información corresponda al terreno.

En el levantamiento topográfico realizado en la zona de estudio, se consideró cuidadosamente la infraestructura vial preexistente. Dado que el proyecto consiste en un desdoblamiento, se requería una franja de terreno de 120 metros a partir del eje de la vía existente. En este contexto, se llevó a cabo un análisis exhaustivo del corredor, abarcando la totalidad de los sectores pertinentes. Se otorgó especial atención a los detalles que resultarían cruciales para la creación de un Modelo Digital de Terreno (MDT) y la generación de curvas de nivel de manera precisa y adecuada a las necesidades del proyecto.

Para realizar el ajuste de coordenadas, con los vértices posicionados se hace una revisión para realizar los ajustes de la nube de puntos en la coordenada Z llevándola a la cota del punto de referencia correspondientes (ver Figura 7. Una vez realizado dicho ajuste (ver Figura 8 se generaron las curvas de nivel, el modelo digital de terreno y se generó un archivo entregable en formato de intercambio DXF al diseño geométrico.

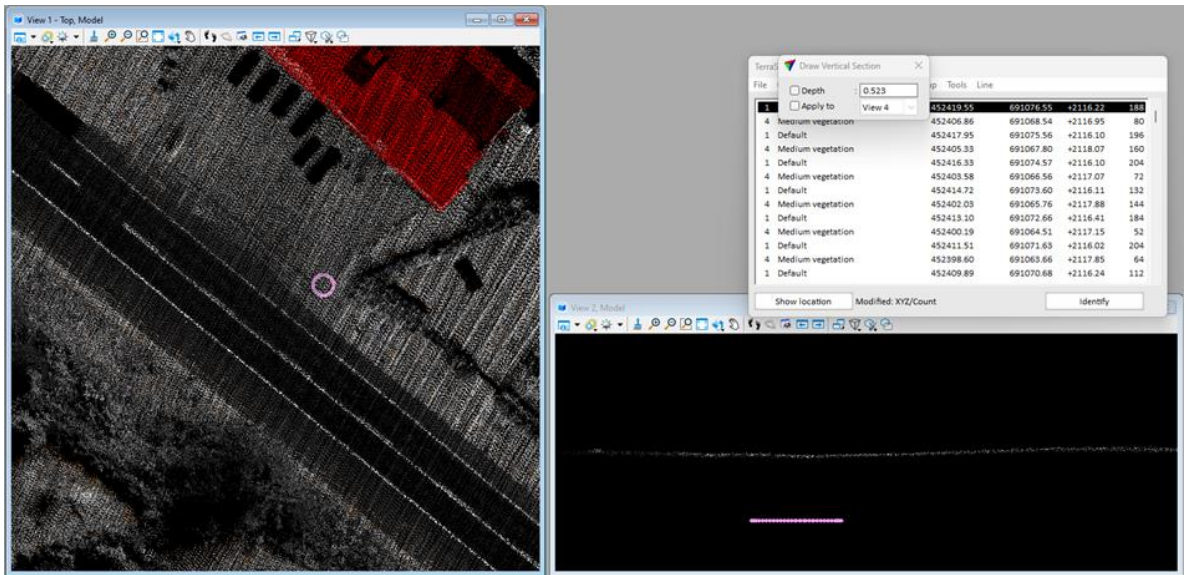


Figura 7 Vista superior y frontal de GPS y nube de puntos sin ajuste (k21+250)

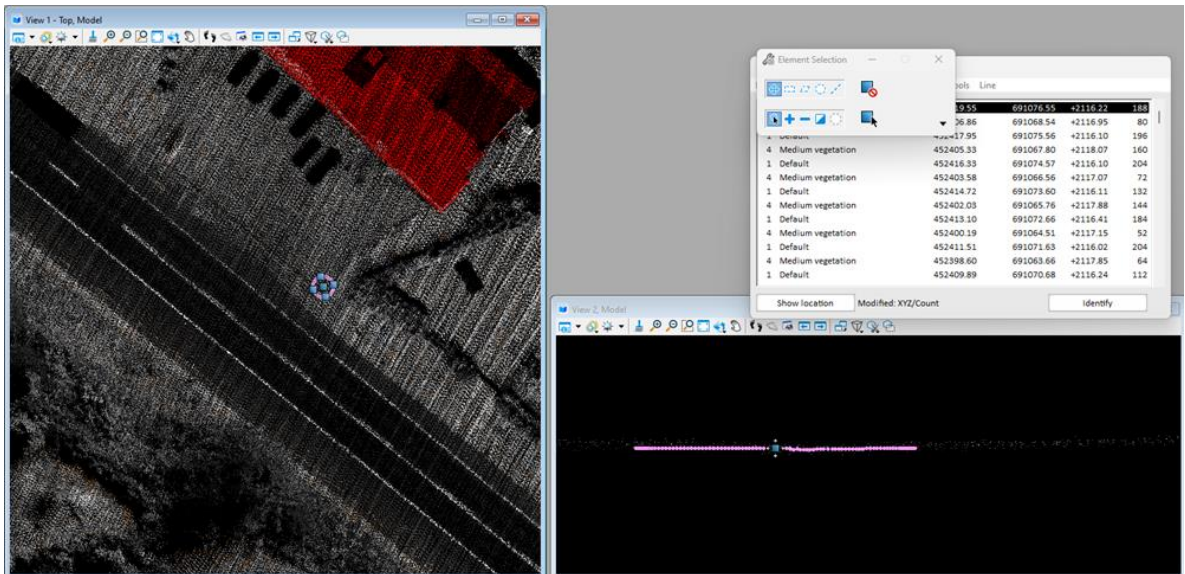


Figura 8 Vista superior y frontal de GPS y nube de puntos ajustada (k21+250)

### 5.2.2 Adopción de datum horizontal y vertical

Los estudios topográficos se referenciaron al marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA-SIRGAS Resolución 068, enero 28 de 2005 (Codazzi, 2018) como datum horizontal oficial, en época de referencia 2018.0. El modelo de geoide es GEOCOL 2004, y el datum vertical, para referir todo tipo de alturas sobre el nivel del mar, es Buenaventura.

Se vincula a puntos materializados y georreferenciados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), referidos al sistema MAGNA-SIRGAS, y se procesó para presentar la información final en el sistema de Coordenadas Planas Bogotá origen Central el cual está determinado por los parámetros presentados en la Tabla 36.

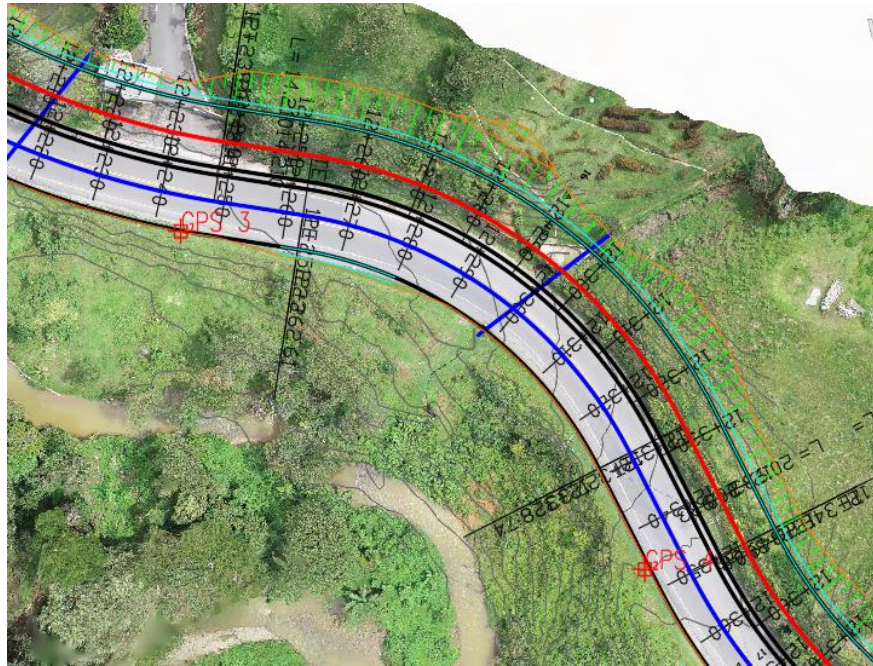
**Tabla 36. Datos Magna Sirgas Origen Bogotá**

Parámetro	Valor
Proyección	Transversa de Mercator
Elipsoide	GRS80
Origen: Latitud	4° 35' 46.32150"
Origen: Longitud	-74° 04' 39.02850"
Falso Este	1.000.000
Falso Norte	1.000.000
Unidades	Metros
Factor de escala	1.000399803265436

### 5.2.3 Georreferenciación

La georreferenciación del proyecto se trasladó a puntos de amarre materializados, con coordenadas referidas al sistema de referencia oficial para Colombia Magna-Sirgas, en época de referencia 2018.

La materialización de pares de vértices GNSS se realizará con una distancia máxima entre ellos de 3 km a lo largo de todo el proyecto la ubicación de los gps se pueden ver en los planos de planta perfil la localiza (Figura 9).



**Figura 9 Ubicación GPS Km12+240 ( Elaboración Propia )**

Se realizan los cálculos de las coordenadas de los GPS, con los datos obtenidos en campo, el cálculo de las coordenadas se anexa al presente informe en el anexo 1 Informe general. Las coordenadas obtenidas se presentan en la Tabla 37.

**Tabla 37. Cuadro de coordenadas**

<b>REFERENCIAS V BMs</b>				
<b>PTO</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	<b>COTA</b>	<b>NOMBRE</b>
1	1172443.839	838911.801	2465.147	GPS 1
2	1172842.171	838982.241	2469.896	GPS 2
3	1171155.505	839992.800	2439.808	GPS 3
4	1171102.208	840065.943	2446.197	GPS 4
5	1170930.885	840328.389	2445.429	GPS 5
6	1171012.994	840350.598	2438.586	GPS 6
7	1170865.787	840896.720	2389.876	GPS 7

REFERENCIAS V BMs				
PTO	NORTE	ESTE	COTA	NOMBRE
8	1170869.931	840974.434	2387.748	GPS 8
9	1170786.068	841275.604	2362.385	GPS 9
10	1170780.760	841350.313	2356.112	GPS 10
11	1170308.090	841575.244	2301.160	GPS 11
12	1170262.921	841630.769	2296.809	GPS 12
13	1169962.757	841884.521	2264.109	GPS 13
14	1169902.622	841922.952	2258.758	GPS 14
15	1168550.791	842463.084	2175.317	GPS 15
16	1168474.220	842450.613	2169.272	GPS 16
17	1167967.589	842394.211	2166.591	GPS 17
18	1167884.453	842368.294	2172.718	GPS 18
19	1166630.379	841958.395	2153.214	GPS 19
20	1166503.621	841907.509	2156.307	GPS 20
21	1165927.870	842484.594	2186.084	GPS 21
22	1165917.196	842588.985	2184.774	GPS 22
23	1165467.783	843280.473	2146.031	GPS 23
24	1165468.906	843368.174	2144.331	GPS 24

#### 5.2.4 Modelo digital de terreno

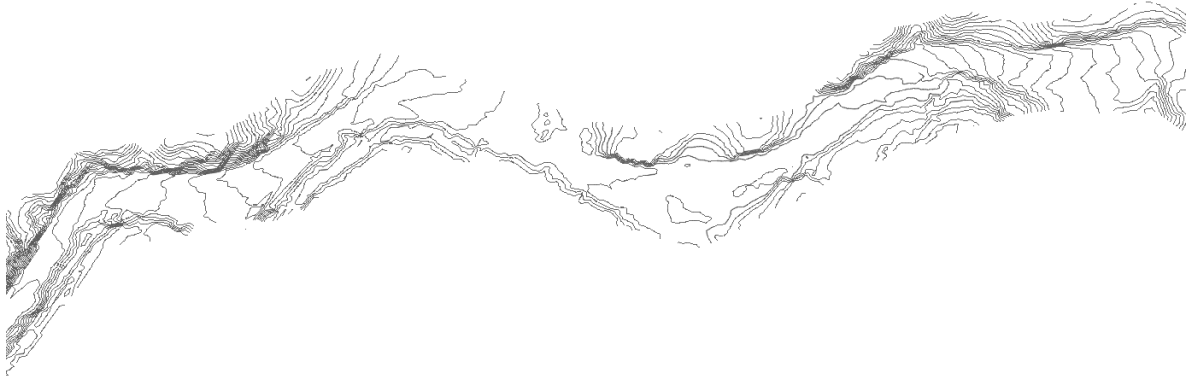
La metodología empleada para la creación del MDT (Modelo digital de Terreno) en el sector de estudio se basó en la estructura de Triángulos Irregulares (TIN). Este modelo se generó a partir de la nube de puntos obtenida mediante levantamientos topográficos detallados de la vía. El software utilizado para este propósito fue el Curvado de la casa matriz Tools S.A., con una equidistancia entre curvas índice de 5 m y entre curvas de nivel del orden de 1 m.

Posteriormente, los datos obtenidos se exportaron del software "TrimbleTrident-software 3D Analyst" en formato de intercambio .shp, que incluye información gráfica y parámetros topográficos del proyecto. Estos datos se cargaron en un software de dibujo CAD para generar el MDT, una representación simplificada y accesible de la topografía del terreno en formato computacional.

El MDT resultante incluye las componentes (X, Y, Z) y se determina mediante todos los puntos levantados en la superficie, así como los elementos levantados como bordes y ejes de vía, sardinel, separadores, canales, cunetas, corona, pata de taludes y otros, que se incorporan al modelo como líneas de quiebre (breaklines).

El producto digital de las zonas levantadas cuenta con las componentes (X, Y, Z). El MDT se determina con todos los puntos levantados sobre la superficie y los elementos levantados como bordes y ejes de vía, sardinel, separadores, canales, cunetas, corona, pata de taludes y otros que son incluidos en el modelo como líneas de quiebre (breaklines).

El modelo digital de terreno general proporciona suficiente información para generar curvas de nivel (Figura 10), perfiles longitudinales y secciones transversales del terreno, como mínimo cada diez (10) metros.



**Figura 10 Ejemplo de cálculo de curvas de nivel Km 12+180 Calculado a partir del modelo digital del terreno**

### **5.3 PRESUPUESTO**

La elaboración del presupuesto para la construcción del desdoblamiento implica considerar una variedad de factores, desde la adquisición de materiales hasta los costos laborales y administrativos. A continuación, te proporciono una metodología básica que puedes adaptar según las necesidades específicas de tu proyecto:

- Definición del Alcance del Proyecto:

Especifica la longitud total de la vía de doble calzada y se determina el ancho de cada calzada y el espacio central entre ambas.

- Análisis Topográfico y de Suelos:

Realiza un estudio topográfico y geotécnico del terreno para evaluar las condiciones del suelo y se considera cualquier obra adicional necesaria para superar desafíos topográficos.

- Diseño Geométrico:

Utiliza los resultados del estudio topográfico para desarrollar el diseño geométrico de la vía y se considera la cantidad de carriles, intersecciones, curvas y pendientes.

- Especificaciones Técnicas:

Define las especificaciones técnicas para la construcción, incluyendo materiales, espesores de pavimento, señalización vial, sistemas de drenaje, entre otros.

- Estimación de Cantidades:

Desarrolla una lista detallada de los materiales y la cantidad requerida para cada elemento del proyecto teniendo como base los planos detallados y especificaciones técnicas para cuantificar los elementos.

- Cotización de Materiales y Servicios:

Solicita cotizaciones a proveedores locales para los materiales necesarios.

- Costos Laborales:

Estima la cantidad de horas de trabajo necesarias para cada fase del proyecto y se calculan los costos laborales considerando salarios, beneficios y posibles horas extras.

- Costos Indirectos:

Incluye costos administrativos, gastos generales y beneficio del contratista.

- imprevistos:

Añade un porcentaje para contingencias que cubra imprevistos y cambios en el proyecto.

- Presupuesto Final:

- Suma todos los costos estimados para obtener el presupuesto total del proyecto.

## 6. RESULTADO DEL PROYECTO

### 6.1 DIAGNOSTICO DEL CORREDOR, ESTUDIO DE TRÁNSITO, CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

Se presenta la información secundaria y primaria recopilada para este estudio, así como la estimación del TPD a partir de ella y el análisis de los datos obtenidos.

#### 6.1.1 conteos

Como se mencionó en la metodología, con el fin de estimar el TPD se tomaron datos durante 3 días, donde 2 eran típicos (jueves y viernes) y uno atípico (sábado), estos conteos se realizaron durante 24 horas, entre los días 27 y 29 de julio del año 2023. En los anexos se presentan las planillas obtenidas a partir de los conteos realizados, incluyendo el cálculo de los volúmenes de automóviles directos equivalentes (ADE).

#### 6.1.2 Estimación TPD

A partir de estos datos de los conteos se realizó el cálculo del Transito Promedio Diario Semanal (TPDS) por categoría, este se hace tanto para ambos sentidos como de manera individual.

Al tener el TPDS se realizó la estimación del Transito Promedio Diario Anual (TPDA), mediante el uso de estadística, donde se contemplan 3 metodologías. En las metodologías hay algunas similitudes, como lo es el uso de niveles de confianza, el cual se estableció para todos los métodos con un valor de 95%. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 38 y Tabla 39 incluyendo las motos y sin incluirlas, ya que para calcular el TPDA se realizó un cálculo teniendo en cuenta las motos y otro sin tenerlas en cuenta, esto con el fin de poder realizar una comparación teniendo en cuenta este modo de transporte.

**Tabla 38. TPDS con motos**

TRANSITO DIARIO			
Fecha	Palmas - Don diego	Don Diego - Palmas	Ambos sentidos
27/07/2023	10,867	11,207	22,074
28/07/2023	11,817	11,425	23,242
29/07/2023	13,223	11,884	25,107
<b>TPDS</b>	<b>11,969</b>	<b>11,505</b>	<b>23,474</b>
Distribución	50.99%	49.01%	<b>100.00%</b>

**Tabla 39. TPDS sin motos**

<b>TRANSITO DIARIO (SIN MOTOS)</b>			
<b>Fecha</b>	<b>Palmas - Don diego</b>	<b>Don Diego - Palmas</b>	<b>Ambos sentidos</b>
27/07/2023	7,263	7,520	14,783
28/07/2023	7,993	8,107	16,100
29/07/2023	9,420	8,264	17,684
<b>TPDS</b>	<b>8,225</b>	<b>7,964</b>	<b>16,189</b>
Distribución	50.81%	49.19%	<b>100.00%</b>

### 6.1.3 Análisis de datos de aforos

#### 6.1.4 Ambos sentidos

Con el fin de realizar posteriormente los análisis de capacidad y nivel de servicio de la situación actual y la futura se identificaron las horas de máxima demanda de cada uno de los días y en cada uno de los sentidos:

**Tabla 40. Análisis hora de máxima demanda en ambos sentidos sin motos**

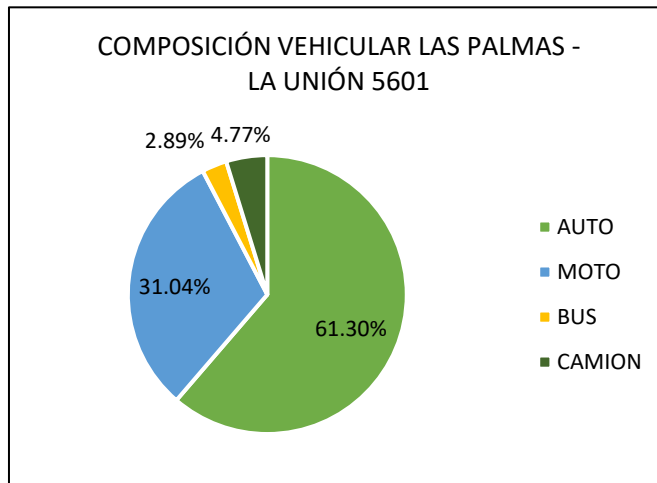
<b>FECHA</b>	<b>DIA</b>	<b>PERIODO</b>	<b>HDMD</b>	<b>Qmax</b>	<b>qmax</b>	<b>FHP</b>
27/07/2023	Jueves	am	07:30 - 08:30	965	277	0.871
		pm	17:00 - 18:00	1169	321	0.910
28/07/2023	Viernes	am	06:45 - 07:45	933	255	0.915
		pm	16:45 - 17:45	1384	<b>394</b>	0.878
29/07/2023	Sábado	am	11:00 - 12:00	1134	313	0.906
		pm	14:30 - 15:30	<b>1453</b>	380	0.956

**Tabla 41. Análisis hora de máxima demanda en ambos sentidos con motos**

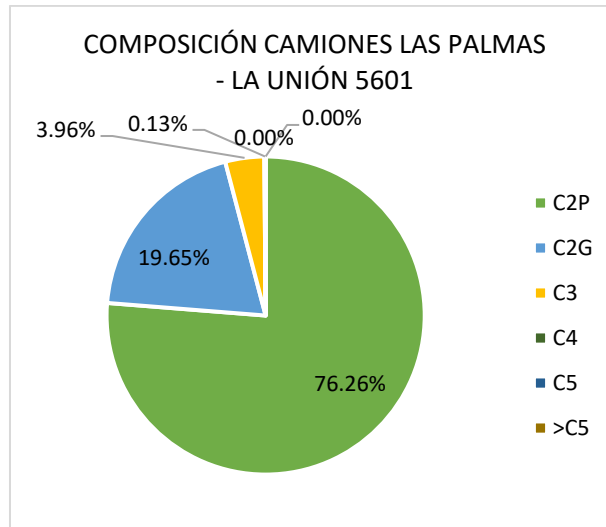
FECHA	DIA	PERIODO	HDMD	Qmax	qmax	FHP
27/07/2023	Jueves	am	07:30 - 08:30	1849	501	0.923
		pm	16:45 - 17:45	1778	476	0.934
28/07/2023	Viernes	am	06:30 - 07:30	1830	505	0.906
		pm	16:45 - 17:45	2072	554	0.935
29/07/2023	Sábado	am	11:00 - 12:00	1539	415	0.927
		pm	12:15 - 13:15	<b>2096</b>	<b>567</b>	0.924

Es posible observar que para los días entre semana las horas de máxima demanda (HDMD) están relacionadas a los horarios de entrada y salida de los trabajos y colegios, además la distribución por sentidos del flujo es casi equivalente, esto quiere decir que por cada carril pasa el 50% de los vehículos.

Se realizó una clasificación por tipo de vehículo, donde se segregó en autos, motos, buses y camiones, a su vez se realizó una segregación de los camiones de la siguiente manera: C2P, C2G, C3, C4, C5 y >C5. La composición vehicular obtenida fue la siguiente:



**Figura 11 Composición vehicular ambos sentidos 27,28 y 29 de Julio 2023.**



**Figura 12 Composición de vehículos pesados ambos sentidos 27,28 y 29 de Julio 2023.**

Como se puede observar la mayor parte de los vehículos presentes en la vía son livianos, si se cuentan autos y motos se obtiene que aproximadamente el 92% de los vehículos son de esta categoría, sin embargo, para poder realizar los análisis de capacidad y nivel de servicio no se tuvieron en cuenta las motos por lo que el 19.65% de los vehículos son pesados, el 3.3% son buses y el 14.19% son camiones.

### 6.1.5 Sentido Don Diego - Palmas

En el sentido Don Diego – Palmas se obtuvieron los siguientes valores:

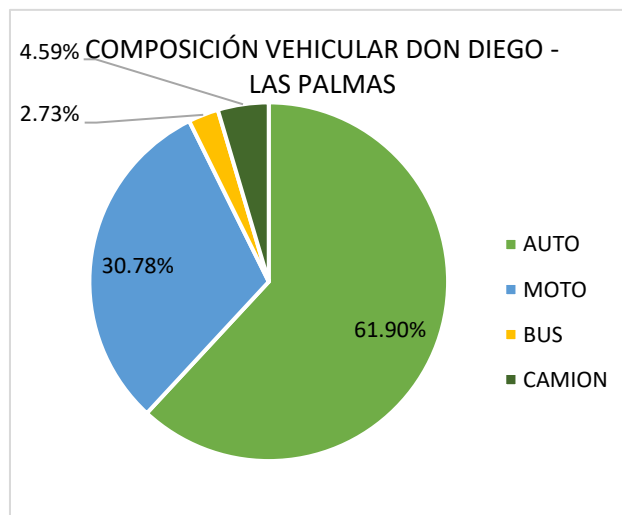
**Tabla 42. Análisis hora de máxima demanda sentido Don Diego - Palmas con motos**

FECHA	DIA	PERIODO	HDMD	Qmax	qmax	FHP
27/07/2023	Jueves	am	07:30 - 08:30	<b>1172</b>	298	0.983
		pm	16:45 - 17:45	922	259	0.890
28/07/2023	Viernes	am	06:15 - 07:15	986	265	0.930
		pm	17:00 - 18:00	1006	310	0.811
29/07/2023	Sábado	am	09:00 - 10:00	620	167	0.928
		pm	12:15 - 13:15	1093	<b>320</b>	0.854

**Tabla 43. Análisis hora de máxima demanda sentido Don Diego - Palmas sin motos**

FECHA	DIA	PERIODO	HDMD	Qmax	qmax	FHP
27/07/2023	Jueves	am	07:30 - 08:30	596	167	0.892
		pm	16:45 - 17:45	606	177	0.856
28/07/2023	Viernes	am	06:15 - 07:15	582	265	0.549
		pm	16:45 - 17:45	670	310	0.540
29/07/2023	Sábado	am	09:00 - 10:00	459	167	0.687
		pm	12:15 - 13:15	638	320	0.498

Se realizó una clasificación por tipo de vehículo, donde se segregó en autos, motos, buses y camiones, a su vez se realizó una segregación de los camiones de la siguiente manera: C2P, C2G, C3, C4, C5 y >C5. La composición vehicular obtenida fue la siguiente:



**Figura 13 Composición vehicular Don Diego – Palmas 27,28 y 29 de Julio 2023.**

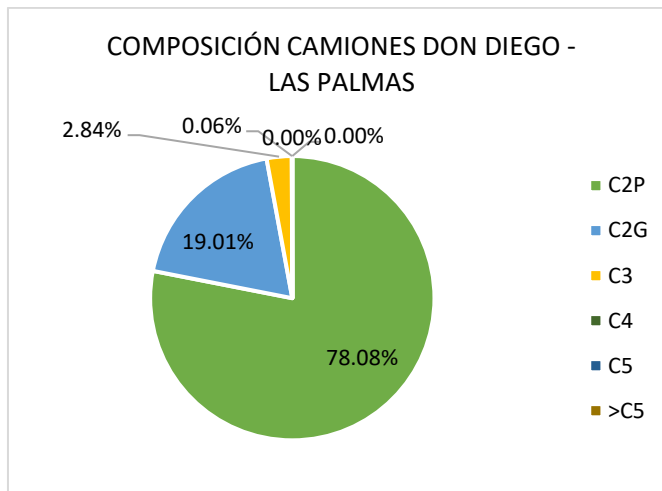


Figura 14 Composición pesados Don Diego – Palmas 27,28 y 29 de Julio 2023.

### 6.1.6 Sentido Palmas – Don Diego

Para el sentido Palmas – Don Diego se obtuvieron los siguientes valores:

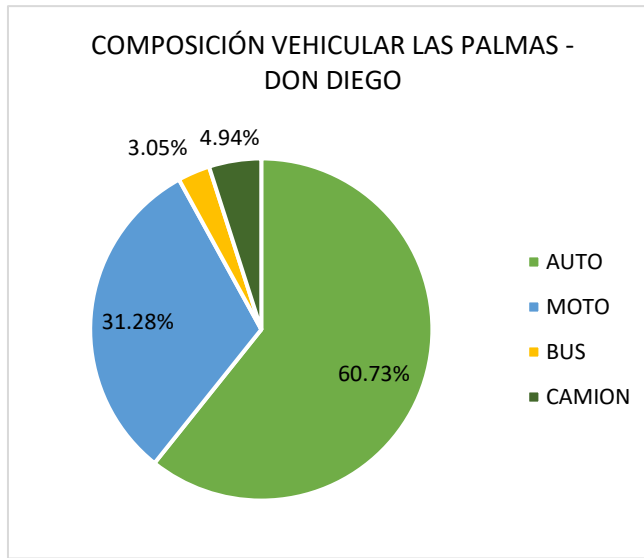
Tabla 44. Análisis hora de máxima demanda sentido Palmas – Don Diego con motos

FECHA	DIA	PERIODO	HDMD	Qmax	qmax	FHP
27/07/2023	Jueves	am	06:30 - 07:30	934	269	0.868
		pm	16:45 - 17:45	856	229	0.934
28/07/2023	Viernes	am	06:45 - 07:45	873	242	0.902
		pm	16:45 - 17:45	1068	304	0.878
29/07/2023	Sábado	am	11:00 - 12:00	958	269	0.890
		pm	13:15 - 14:15	<b>1159</b>	<b>305</b>	0.950

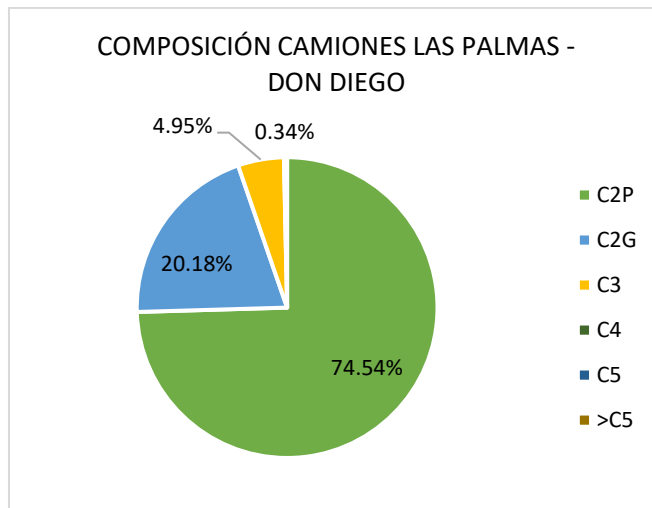
**Tabla 45. Análisis hora de máxima demanda sentido Palmas – Don Diego sin motos**

FECHA	DIA	PERIODO	HDMD	Qmax	qmax	FHP
27/07/2023	Jueves	am	09:45 - 10:45	443	126	0.879
		pm	17:15 - 18:15	571	150	0.952
28/07/2023	Viernes	am	10:45 - 11:45	448	242	0.463
		pm	16:45 - 17:45	714	<b>304</b>	0.587
29/07/2023	Sábado	am	11:00 - 12:00	740	217	0.853
		pm	14:30 - 15:30	<b>904</b>	229	0.987

Se realizó una clasificación por tipo de vehículo, donde se segregó en autos, motos, buses y camiones, a su vez se realizó una segregación de los camiones de la siguiente manera: C2P, C2G, C3, C4, C5 y >C5. La composición vehicular obtenida fue la siguiente:



**Figura 15 Composición vehicular Palmas – Don Diego 27,28 y 29 de Julio 2023.**



**Figura 16 Composición pesados Palmas – Don Diego 27,28 y 29 de Julio 2023.**

Se puede observar dentro de la composición vehicular que los vehículos de mayor uso son los livianos, donde los autos y motos abarcan aproximadamente el 92% de los vehículos en el sentido Palmas – Don Diego, algo que se mantiene constante tanto con el flujo en el otro sentido como con la composición general de los vehículos en todo el proyecto.

### 6.1.7 Proyecciones de tránsito

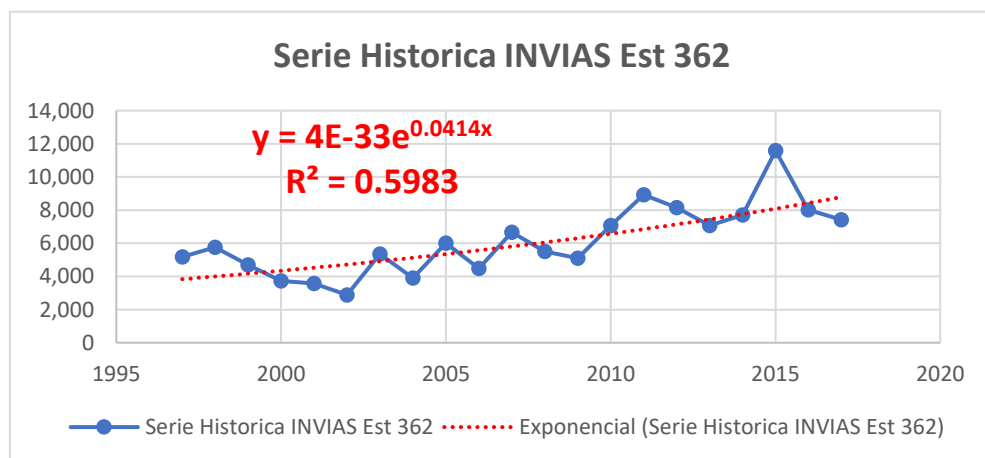
Se realizó la proyección del TPD. Las tasas de crecimiento vehicular se definieron a partir de la serie histórica de conteos de la estación 362 del Invías, ubicada en la vía Palmas – Don Diego, la cual se presenta en la Tabla 46. Estos datos no han sido actualizados por dicha entidad solo hay información histórica hasta la fecha de 2017. A partir de los datos se realizaron las regresiones lineales, exponencial, y logarítmica. Los resultados se presentan en la Figura 17 Serie histórica Vs. modelos matemáticos, y al realizar su análisis se identificó que la regresión exponencial es la que más se ajusta, debido a que su coeficiente  $R^2$  es muy aproximado a 1, con un valor de 0.89. Al evaluar la serie se calculó que corresponde a una tasa de crecimiento del 5.47%.

**Tabla 46. Serie histórica estación 362**

DON DIEGO-LAS PALMAS 56-01 ESTACIÓN 362		
AÑO	TPD	COMPOSICIÓN
1997	5,170	88-05-07
1998	5,757	88-05-07
1999	4,692	85-08-07

DON DIEGO-LAS PALMAS 56-01 ESTACIÓN 362		
AÑO	TPD	COMPOSICIÓN
2000	3,722	86-07-07
2001	13,577	94-02-04
2002	2,885	83-09-08
2003	5,358	87-04-09
2004	3,908	84-08-08
2005	5,999	93-04-03
2006	4,480	85-08-07
2007	6,663	83-06-11
2008	5,509	84-07-09
2009	5,093	81-08-11
2010	7,070	90-06-04
2011	8,929	85-06-09
2012	8,151	88-05-07
2013	7,074	85-06-09
2014	7,709	85-06-09
2015	11,582	87-05-08
2016	8,015	82-06-12
2017	7,422	83-7-10

La tasa obtenida a partir de la serie histórica se analizó en conjunto con los crecimientos correspondientes al PIB nacional, PIB departamental, del Peaje de Las Palmas, obteniéndose una Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA) del 3.35% (ver Tabla 47).



**Figura 17 Serie histórica Vs. modelos matemáticos**

**Tabla 47. Tasa de crecimiento**

Indicador	Crecimiento promedio	periodo
PIB Nacional	3.47%	1980-2022
PIB Antioquia	3.40%	1980-2022
Peaje Palmas	3.06%	1994-2021
Serie histórica	3.48%	1997-2017
<b>TCMA</b>	<b>3.35%</b>	

Con esta tasa TCMA se realizó la proyección a partir de una ecuación de crecimiento lineal, esta proyección se realiza para cada categoría vehicular y se resaltan los años de interés del proyecto (5, 10 y 20 años al futuro) para evaluar posteriormente la capacidad y el nivel de servicio. En la Tabla 48 se presentan los resultados de la proyección del TPD.

**Tabla 48. Proyección TPDA a 20 años**

AÑO	AUTO	MOTO	BUS	CAMION	C2P	C2G	C3	C4
2023	14,391	7,285	679	1,119	854	220	44	1
2024	14,895	7,541	703	1,159	884	228	46	2
2025	15,417	7,805	728	1,200	915	236	48	3
2026	15,957	8,079	754	1,242	948	245	50	4
2027	16,516	8,362	781	1,286	982	254	52	5
2028	17,095	8,655	809	1,332	1,017	263	54	6
2029	17,694	8,958	838	1,379	1,053	273	56	7
2030	18,314	9,272	868	1,428	1,090	283	58	8
2031	18,955	9,597	899	1,478	1,129	293	61	9
2032	19,619	9,933	931	1,530	1,169	304	64	10
2033	20,306	10,281	964	1,584	1,210	315	67	11
2034	21,017	10,641	998	1,640	1,253	327	70	12
2035	21,753	11,014	1,033	1,698	1,297	339	73	13
2036	22,515	11,400	1,070	1,758	1,343	351	76	14
2037	23,304	11,799	1,108	1,820	1,391	364	79	15
2038	24,120	12,212	1,147	1,884	1,440	377	82	16
2039	24,965	12,640	1,188	1,950	1,491	391	85	17
2040	25,839	13,083	1,230	2,019	1,544	405	88	18
2041	26,744	13,541	1,274	2,090	1,599	420	92	19
2042	27,681	14,015	1,319	2,164	1,655	435	96	20
2043	28,650	14,506	1,366	2,240	1,713	451	100	21

En el marco de nuestro análisis de tráfico, no solo hemos llevado a cabo la proyección del tráfico promedio diario, sino que también hemos llevado a cabo proyecciones detalladas de los volúmenes de tráfico en las horas de máxima demanda para ambos sentidos de la vía.

### **6.1.8 Estimación de capacidad y nivel de servicio**

La Capacidad de una carretera se define como el máximo número de vehículos que puede circular, por un punto o tramo uniforme de la vía en los dos sentidos durante cierto período de tiempo, en las condiciones imperantes de vía y de tránsito. La capacidad se expresa en vehículos por hora.

Por su parte, el Nivel de Servicio se define como la calidad del servicio que ofrece esta vía a sus usuarios, que se refleja en grado de satisfacción o contrariedad que experimentan al usar la vía. Se han definido seis niveles para Colombia que van desde el A al F, así:

Para llevar a cabo una evaluación exhaustiva de la capacidad y el nivel de servicio de la situación actual, se realizaron los análisis para cuatro escenarios temporales diferentes. Estos escenarios abarcan un rango de proyección desde el periodo actual hasta un horizonte de planificación a largo plazo de 20 años. Cada uno de estos escenarios proporciona una visión única y esencial de cómo se espera que evolucione la infraestructura vial y la demanda de tráfico en el futuro, lo que es fundamental para la toma de decisiones informadas y estratégicas en el ámbito de la gestión del tráfico y la planificación urbana:

El análisis de la capacidad y nivel de servicio se realizó siguiendo la metodología establecida en el “Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras de Dos Carriles” para evaluar la condición sin proyecto (calzada sencilla), y el “Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para Vías Multicarril” para evaluar la condición con proyecto (calzada doble con dos carriles por sentido).

### **6.1.9 Cálculo de capacidad y niveles de servicio de la situación actual (sin proyecto)**

La evaluación de la situación actual se realiza a partir de la geometría que se encuentra presente hoy en día en el área del proyecto, esto nos permite saber cómo se está comportando la vía y cuál será su comportamiento con tránsitos futuros, además los periodos analizados servirán como base para realizar comparaciones con el proyecto propuesto.

Para esta calculo se utilizará la hoja de cálculo para carretera de dos carriles determinación de capacidad y niveles de servicio del INVIAS dando como resultado los siguientes datos.

**Tabla 49 Calculo de nivel de capacidad y nivel de servicio.**

CARRETERAS DE DOS CARRILES					
DETERMINACION DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO					
Tramo:	PALMAS DON DIEGO		Sector:	EL RETIRO	
Sector:	PALMAS DON DIEGO		Tipo de Sector:	Típico	
Nombre:	ESTADO ACTUAL PALMAS DON DIEGO				
Calculó:	CARLOS BERGAÑO		Revisó:	CARLOS BERGAÑO	
			Fecha:	6/11/2023	
<b>1. INFORMACION INICIAL</b>					
Información Geométrica			Información de Tránsito		
Pendiente (%)	8.00		Distribución Direccional (%)	51	
Longitud (km)	12.80		Autos (%)	92.34	
Ancho de Camil (m)	3.50		Buses (%)	2.89	
Ancho de Berma (m)	1.20		Camiones (%)	4.77	
Curvatura Horizontal (o/km)	300.00		Volumen Ambos Sentidos Q (veh/h)	2096	
Zonas de No Rebasa (%)	80.00		Tasa de crecimiento anual (%)	3.35	
<a href="#">Ver Manual CNS 2016</a>					
<b>2. CALCULO DE LA CAPACIDAD (C<sub>60</sub> y C<sub>s</sub>)</b>					
			Ec Tabla 4		
			5.930		
F <sub>pe</sub> Tabla 1	x	F <sub>d</sub> Tabla 2	x	F <sub>cb</sub> Tabla 3	x
0.840	x	0.985	x	0.980	x
				F <sub>p</sub>	x
				0.726	x
				C <sub>1</sub> (veh/h)	=
				3200	=
				C <sub>60</sub> (veh/h)	=
				1883	=
				C <sub>60</sub> (veh/h)	x
				1883	x
				FPH Tabla 5	=
				0.924	=
				C <sub>s</sub>	=
				1740	=
Año	Q (veh/h)	Q/C <sub>60</sub>	Q/C <sub>s</sub>	Velocidad Promedio, km/h	Nivel de Servicio
0	2096	1.11	1.20	22.034	E
5	2471	1.31	1.42	22.034	E
10	2914	1.55	1.67	22.034	E
20	4051	2.15	2.33	22.034	E
30	5633	2.99	3.24	22.034	E
<b>3. CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO</b>					
M Tabla 6	x	F <sub>u</sub> Tabla 7	x	F <sub>cb</sub> Tabla 8	=
49.000	x	0.500	x	0.930	=
				V <sub>1</sub> (km/h)	Tipo de Terreno
				22.785	MONTAÑOSO
V <sub>1</sub> (km/h)	x	Ec Tabla 9	x	F <sub>p</sub>	x
22.785	x	1.064	x	0.997	x
				F <sub>1</sub> Tabla 10	=
				0.970	=
				V <sub>2</sub> (km/h)	V <sub>2</sub> /M * 100
				22.034	24.5
				Velocidad Promedio (Km/h)	Nivel de Servicio (Tabla 11)
				22.03	E

Al evaluar la capacidad se obtuvo que la capacidad de la vía es de 1883 veh/h para la totalidad de la calzada y actualmente está en 2096 veh/h en su hora pico lo cual el nivel de servicio es **E**.

#### **6.1.10 Cálculo de capacidad y niveles de servicio de la alternativa (con proyecto)**

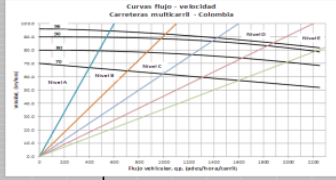
La evaluación se realiza a partir de la propuesta, que en este caso comprende el desdoblamiento de la calzada existente, por lo que cada calzada contará con dos carriles, teniendo esto presente se procede a realizar el cálculo de la capacidad y nivel de servicio, además se tomó la situación de hora de máxima demanda más crítica de las dos calzadas para evaluar el nivel de servicio, que en este caso es el que pertenece al Don Diego – Palmas ya que es el carril de ascenso.

**Tabla 50 Cálculo de capacidad y nivel de servicio multicarril estado actual**

CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO CARRETERAS MULTICARRIL COLOMBIA 2015			
Carretera:	PALMAS DON DIEGO		
Proyecto:	DESDOBLAMIENTO PALMAS DON DIEGO		
Analista:	EAFIT	Fecha (dd/mm/año):	06/11/2023
Tipo de análisis:	Planeación	NS diseño:	B
VELOCIDAD A FLUJO LIBRE, VL <input type="checkbox"/> Límite de Velocidad			
Tipo de Velocidad VL:	Velocidad genérica, VG	Valor velocidad genérica, km/h	60.0
Límite de Velocidad (km/h):	50.0		
Valor sugerido de VG (km/h):			
Ancho de separador (m):	1.20	Ancho promedio de bermas (m):	1.8
Ancho de carril (m):	3.65	No accesos por kilómetro:	12.8
CALCULO DE VELOCIDAD A FLUJO LIBRE			
VG:	60.0	VL Calculada:	48.9
Corrección ancho de carril, $f_c$ :	0.0	Tomar VL de:	<b>70</b>
Corrección promedio ancho de bermas, $f_b$ :	0.8		<b>Ver Manual</b>
Corrección ancho de separador, $f_s$ :	1.1		
Corrección densidad de accesos, $f_A$ :	9.2		
INFORMACION DE VEHICULOS			
Volumen (veh/h):	1172	FHP:	0.98
Terreno: (Ver Instrucciones)	Pendiente Ascenso	Información de rampas compuestas	
Porcentaje de Vehículos	EC	Segmento	Longitud (m)
Camiones	7.3	4.90	1382.0
			5021.8
			6396.2
fHW	0.778	$f_p$	
Tipo de conductor:	Frecuente		
Tasa Flujo Máxima:	945		
		Longitud (m):	12800.0
		Pendiente Ponderada (%):	4.0
RESULTADOS			
Velocidad (km/h):	<b>63.8</b>		
Densidad( Ades/km/Carril):	<b>12.3</b>		
		NIVEL DE SERVICIO: <b>E</b>	
		Número de Carriles	<b>1.6</b>

A partir de los resultados obtenidos se comprueba la mejora del nivel de servicio con el proyecto, ya que pasa de E a B en el año 0. Además, también se verifica que es una solución para enfrentar los crecimientos del flujo vehicular tanto a mediano como a largo plazo.

**Tabla 51 Cálculo de capacidad y nivel de servicio multicarril Proyección 20 años**

<b>CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO CARRETERAS MULTICARRIL COLOMBIA 2015</b>				
Carretera: PALMAS DON DIEGO				
Proyecto: DESDOBLAMIENTO PALMAS DON DIEGO				
Analista: EAFIT	Fecha (dd/mm/año):	06/11/2023		
Tipo de análisis:		Planeación	NS diseño: C	
<b>VELOCIDAD A FLUJO LIBRE, VL</b>				
<input type="checkbox"/> Límite de Velocidad				
Tipo de Velocidad VL:	Velocidad genérica, VG	Valor velocidad genérica, km/h	60.0	
Límite de Velocidad (km/h):	50.0			
Valor sugerido de VG (km/h):				
Ancho de separador (m):	1.20			
Ancho de carril (m):	3.65	Ancho promedio de bermas (m):	1.8	
		No accesos por kilómetro:	12.8	
<b>CALCULO DE VELOCIDAD A FLUJO LIBRE</b>				
VG:	60.0	VL Calculada:	48.9	
Corrección ancho de carril, $f_c$ :	0.0	Tomar VL de:	<b>70</b>	
Corrección promedio ancho de bermas, $f_b$ :	0.8	<b>Ver Manual</b>		
Corrección ancho de separador, $f_s$ :	1.1			
Corrección densidad de accesos, $f_A$ :	9.2			
<b>INFORMACION DE VEHICULOS</b>				
Volumen (veh/h):	2349	FHP:	0.97	
Terreno: (Ver instrucciones)	Pendiente Ascenso	<b>Información de rampas compuestas</b>		
Porcentaje de Vehículos	EC	Segmento	Longitud (m)	Pendiente (%)
Camiones	7.3      4.90	1	1382.0	2.0
fHW	0.778 $f_p$	2	5021.8	7.0
Tipo de conductor:	Frecuente      1.0	3	6396.2	2.0
Tasa Flujo Máxima:	1365	4		
		5		
		6		
		Longitud (m):	12800.0	
		Pendiente Ponderada (%):	4.0	
<b>RESULTADOS</b>				
Velocidad (km/h):	<b>63.8</b>			
Densidad (Ades/km/Carril):	<b>12.3</b>			
<b>NIVEL DE SERVICIO:</b>				
<b>Número de Carriles</b>			<b>2</b>	

Para esto se hace la verificación del calculo con el volumen proyectado a 20 años dando como resultado el proyecto pasa de **B** a **C** ver tabla

## 6.2 DISEÑO GEOMÉTRICO

### 6.2.1 Radio mínimo de curvatura

El radio mínimo ( $R_{C\text{mín}}$ ) es el valor límite de curvatura para una velocidad específica ( $V_{CH}$ ) de acuerdo con el peralte máximo ( $e_{\text{máx}}$ ) y el coeficiente de fricción transversal máxima ( $f_{T\text{máx}}$ ). De acuerdo con lo establecido por el Manual de Diseño Geométrico del Invías, en la

Tabla 52 se puede observar el radio mínimo para velocidad de 50 km/h y peraltes máximos de 8%, y que corresponde a 73 m como radio mínimo.

**Tabla 52. Radios mínimos**

Radios mínimos para peralte máximo  $e_{\text{máx}} = 8\%$  y fricción máxima

VELOCIDAD ESPECÍFICA ( $V_{CH}$ ) (km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{T\text{máx}}$	TOTAL $e_{\text{máx}} + f_{T\text{máx}}$	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
40	8,0	0,23	0,31	40,6	41
50	8,0	0,19	0,27	72,9	73
60	8,0	0,17	0,25	113,4	113
70	8,0	0,15	0,23	167,8	168
80	8,0	0,14	0,22	229,1	229
90	8,0	0,13	0,21	303,7	304
100	8,0	0,12	0,20	393,7	394
110	8,0	0,11	0,19	501,5	501
120	8,0	0,09	0,17	667,0	667
130	8,0	0,08	0,16	831,7	832

### 6.2.2 Longitud mínima curva circular

El valor mínimo de la longitud de la curva circular corresponde a la distancia recorrida en 2 segundos a la velocidad de diseño, que en este caso corresponde a 27.78 como se observa en la Tabla 53.

**Tabla 53. Longitud mínima curva circular**

Velocidad	Longitud curva horizontal
20	11.11
25	13.89
30	16.67
40	22.22
50	27.78
60	33.33
70	38.89
80	44.44
90	50.00
100	55.56
110	61.11

### 6.2.3 Criterios de diseño geométrico transversal

#### 6.2.4 Ancho de calzada

Se considerará un ancho de calzada de 7.30 m, aunque sea para una carretera primaria de dos calzadas con tipo de terreno montañoso y una velocidad de diseño de 50 km/h.

**Tabla 54 ancho de calzada**

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V <sub>TR</sub> ) (km/h)										
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-	
	Escarpado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-	
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-	
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-	
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-	
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-	
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-	
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-	

### 6.2.5 Ancho de bermas

Los anchos de berma de acuerdo con la tabla correspondiente del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras y para una carretera primaria de dos calzadas y una velocidad de diseño de 50 km/h se tomarán como 1.8 m para la berma externa y 0.50 m para la berma interna.

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V <sub>TR</sub> ), km/h									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas <sup>1</sup>	Plano	-	-	-	-	-	-	2.5/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	2.0/1.0	2.0/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0
	Montañoso	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	2.0/1.0	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	2.00	2.00	2.50	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	1.80	2.00	2.00	2.50	-
	Montañoso	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	1.80	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	1.00	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Montañoso	-	-	0.50	0.50	1.00	1.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-
Terciaria <sup>2</sup>	Plano	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	0.50	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-

<sup>1</sup> Berma derecha/Berma izquierda

<sup>2</sup> Berma cuneta

### 6.2.6 Derecho de vía

Según la categoría de la carretera primaria de dos calzadas se tomará la mitad a cada lado del eje de la vía. En vías de doble calzada de cualquier categoría la zona de exclusión se extenderá mínimo veinte (20) metros a lado y lado de la vía que se medirán a partir del eje de cada calzada exterior, Artículo 2 ley 1228 de 2018.

El diseño geométrico se realizó a partir de la información topográfica obtenida. Además, con el objeto de obtener un trazado producto de un análisis interdisciplinario, se realizaron visitas de campo y ajustes en el trazado proyecto.

Se realizó la implantación del proyecto definitivo en planta, perfil y sección transversal, de acuerdo con los criterios de diseño establecidos en el capítulo anterior (ver resumen en la Tabla 55), y en general con lo establecido en el Manual de Diseño Geométrico del Invías.

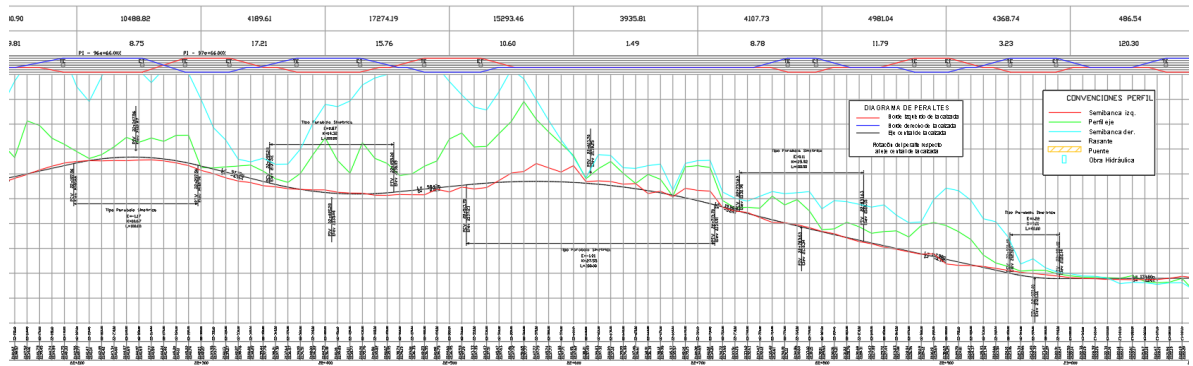
**Tabla 55. Resumen especificaciones**

<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
Velocidad de Diseño:	50 km/h
Calzada:	7.30 m
Berma interna	0.50 m
Berma Externa	1.80 m
Corona:	Variable
Pendiente Máxima:	8.00%
Pendiente Mínima	0.50%
Radio mínimo	73 m
Separador	Variable
Long. Mín. curva vertical	28 m
Dist. Visibilidad parada:	50 m

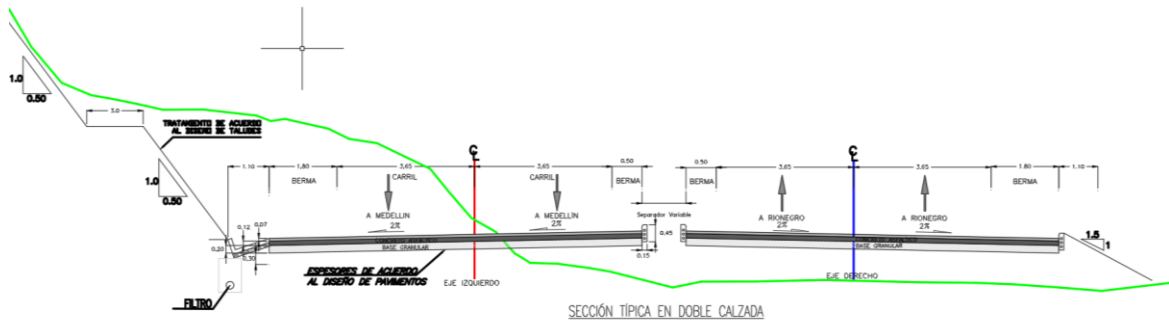
Para la elaboración de las secciones y de las carteras, se tuvieron en cuenta los espesores arrojados en el diseño de pavimentos.

### **6.2.7 Modelación**





**Figura 20** Diseño en perfil sector k22+180



**Figura 21** Sección transversal típica

Los resultados del diseño geométrico se presentan en los planos de planta perfil (ver anexos) y las secciones transversales (ver anexos)

### 6.2.8 Análisis de visibilidad

Se realizó el cálculo de las distancias de visibilidad cada 10 metros en los dos sentidos de circulación, controlando para una determinada velocidad de diseño que la distancia de visibilidad de parada se cumpla en la totalidad del proyecto, así como también el cumplimiento de la distancia de visibilidad de adelantamiento proporcionada en la longitud establecida de acuerdo con el Manual de Diseño Geométrico.

En todos los casos se obtienen distancias mayores a la distancia de visibilidad para determinada velocidad, de acuerdo con el criterio contenido en el Manual de Diseño Geométrico. En los anexos se encuentra el cálculo de este análisis

### 6.2.9 Análisis de consistencia del diseño

Se realizó el análisis de consistencia del diseño utilizando los modelos aplicables al proyecto o utilizando el programa de topo3 de la universidad del cauca. Con los resultados obtenidos, se identifican elementos a mejorar o corregir ver Tabla 56 y Tabla 57.

**Tabla 56 Cuadro de análisis de consistencia del diseño calzada derecha**

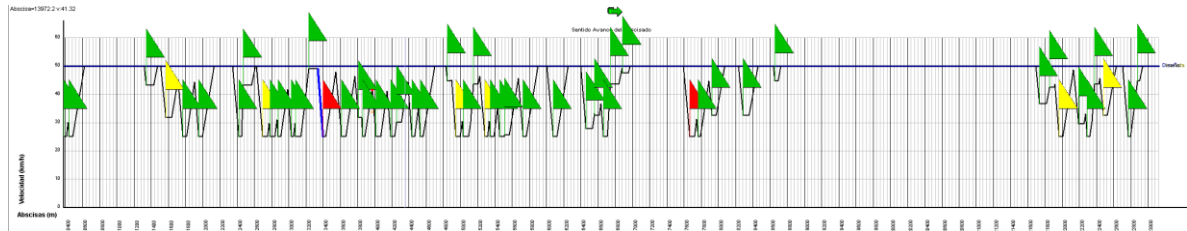
Sentido Avance Abscisado		Sentido en Contra del Abscisado						
Abscisa Inicial (m)	Abscisa Final (m)	Longitud (m)	Area Positiva (m2/s)	Area Negativa (m2/s)	Area Relativa Ra (m/s)	Desviación Estandar (m/s)	Consistencia del Diseño (Polus y Mattar-Habib)	
m	m	m	m2/s	m2/s	m/s	m/s	C	Calidad
10380.00	11000.00	620.00	1122.42	598.18	0.85	2.82	1.45	Regular
11000.00	12000.00	1000.00	1283.54	914.16	0.37	2.46	2.18	Bueno
12000.00	13000.00	1000.00	958.22	1471.77	0.51	2.56	1.95	Regular
13000.00	14000.00	1000.00	443.42	1916.13	1.47	2.27	1.11	Regular
14000.00	15000.00	1000.00	565.11	1994.70	1.43	2.43	1.07	Regular
15000.00	16000.00	1000.00	498.72	2164.22	1.67	2.47	0.89	Malo
16000.00	17000.00	1000.00	1025.00	1247.39	0.22	2.57	2.40	Bueno
17000.00	18000.00	1000.00	1709.31	894.27	0.82	2.36	1.65	Regular
18000.00	19000.00	1000.00	2051.77	223.74	1.83	1.75	1.15	Regular
19000.00	20000.00	1000.00	2777.79	0.00	2.78	1.60	0.81	Malo
20000.00	21000.00	1000.00	2777.79	0.00	2.78	1.60	0.81	Malo
21000.00	22000.00	1000.00	2022.31	315.91	1.71	2.03	1.07	Regular
22000.00	23000.00	1000.00	782.77	1255.97	0.47	2.37	2.06	Bueno
23000.00	23128.46	128.46	356.85	0.00	2.78	1.52	0.87	Malo
10380.00	23128.46	12748.46	18375.02	12996.45	0.42	2.54	2.08	Bueno

**Tabla 57 Cuadro de análisis de consistencia del diseño calzada izquierda**

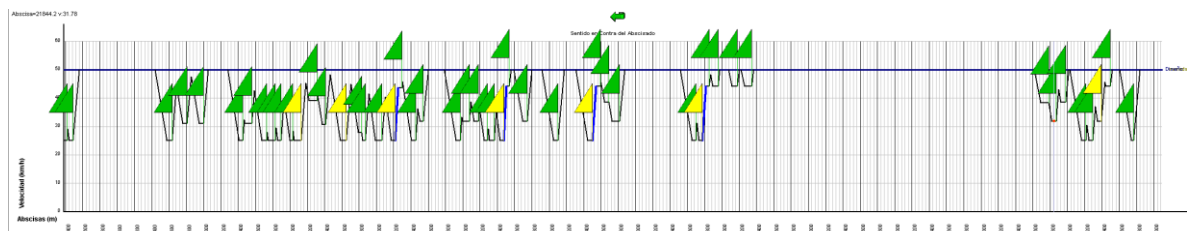
Sentido Avance Abscisado		Sentido en Contra del Abscisado						
Abscisa Inicial (m)	Abscisa Final (m)	Longitud (m)	Area Positiva (m2/s)	Area Negativa (m2/s)	Area Relativa Ra (m/s)	Desviación Estandar (m/s)	Consistencia del Diseño (Polus y Mattar-Habib)	
m	m	m	m2/s	m2/s	m/s	m/s	C	Calidad
10380.00	11000.00	620.00	1256.61	532.66	1.17	2.82	1.12	Regular
11000.00	12000.00	1000.00	1388.58	904.92	0.48	2.14	2.11	Bueno
12000.00	13000.00	1000.00	744.67	1935.42	1.19	2.29	1.32	Regular
13000.00	14000.00	1000.00	141.50	2013.12	1.87	2.15	0.92	Malo
14000.00	15000.00	1000.00	714.38	1766.56	1.05	2.26	1.45	Regular
15000.00	16000.00	1000.00	693.10	1598.89	0.91	2.29	1.58	Regular
16000.00	17000.00	1000.00	987.77	1219.47	0.23	2.24	2.43	Bueno
17000.00	18000.00	1000.00	1817.32	694.84	1.12	2.62	1.24	Regular
18000.00	19000.00	1000.00	2440.92	0.00	2.44	1.12	1.31	Regular
19000.00	20000.00	1000.00	2777.80	0.00	2.78	1.60	0.81	Malo
20000.00	21000.00	1000.00	2777.80	0.00	2.78	1.60	0.81	Malo
21000.00	22000.00	1000.00	1820.79	257.94	1.56	1.40	1.53	Regular
22000.00	23000.00	1000.00	1089.51	1284.00	0.19	2.62	2.44	Bueno
23000.00	23098.43	98.43	273.43	0.00	2.78	1.52	0.87	Malo
10380.00	23098.43	12718.43	18924.18	12207.83	0.53	2.46	1.96	Regular

Por lo que se puede concluir que el análisis de consistencia no cumple en algunos tramos los cuales se tomaran como excepciones a la norma

Para el perfil de velocidades cumple para 50 km/h en ambos sentidos en la mayoría del diseño. ver Figura 22 y figura 23



**Figura 22 . Perfil de velocidades calzada Derecha**



**Figura 23 Perfil de velocidades calzada Izquierda**

## **6.3 PRESUPUESTO**

### **6.3.1 Presupuesto y Análisis de precios unitarios.**

Para la realización del análisis de precios unitarios fue necesario tomar elementos de las actividades que se tienen para la construcción del desdoblamiento y a su vez se tomaron cantidades de obra, es importante destacar que gran parte de estas cantidades se toman del diseño, como lo son los volúmenes de pavimento, de subbase, de lleno y las áreas de riego de liga y de imprimación. Sin embargo, al tratarse de un proyecto Fase I enfocado al diseño geométrico.

Para conocer las cantidades de corte y lleno que se dan se toman los valores que salen del software Namirial Strato, estos se calcularon en secciones de cada 10m, donde hay áreas de corte o lleno y se van calculando los volúmenes entre estas secciones tanto de manera individual por sección como de manera acumulada para poder tener un total de cada uno de estos movimientos de tierra.

Para conocer las cantidades relacionadas a la estructura de pavimento que son las mezclas densas en calientes, base y subbase granular, riego de liga y riego de imprimación se tomaron los espesores de cada uno de los elementos en el caso de estructura de pavimento y se multiplicó por el área que tienen dentro de cada una de las diferentes estructuras presentes, además esta área se utilizó para el cálculo del riego de liga y del riego de imprimación la cual se contabiliza por metro cuadrado.

Las otras cantidades como estructuras como puentes, box culvert y muros de contención se obtuvieron mediante el banco de proyectos que la empresa Devimed s.a me suministro con el cual se pudo hacer un análisis de despieces y cálculo de concreto necesario.

Teniendo todas las cantidades cuantificadas se procede a calcular el valor total de cada actividad, para esto se tomaron los datos de rendimiento y valores monetarios propuestos por INVIAS en los precios de referencia regionalizados para el segundo semestre de 2023, estos datos y valores están asociados a la región del oriente antioqueño, donde se ubica el proyecto. Estas plantillas de APU cuentan con los materiales, equipos, rendimientos, mano de obra y costos de transporte; los cuales fueron tomados de diferentes obras que se hicieron en la región en el semestre anterior a este.

Teniendo las actividades, precios unitarios y las cantidades se realizó el cálculo del presupuesto, el total se encuentran dentro de los anexos adicionalmente se tiene el cálculo por grandes partidas los cuales se pueden ver en la Tabla 58

**Tabla 58 Presupuesto proyecto por grandes partidas**

<b>PRESUPUESTO DE OBRA</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Total</b>
<b>EXPLANACIONES</b>	<b>\$ 11,260,159,218</b>
<b>AFIRMADO, SUBBASES Y BASES</b>	<b>\$ 7,741,779,664</b>
<b>PAVIMENTOS ASFÁLTICOS</b>	<b>\$ 20,863,921,163</b>
<b>ESTRUCTURAS Y DRENAJES</b>	<b>\$ 44,042,361,625</b>
<b>SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD</b>	<b>\$ 281,514,127</b>
<b>OBRAS VARIAS</b>	<b>\$ 1,055,979,472</b>
<b>TRANSPORTES</b>	<b>\$ 12,817,670,726</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>	<b>\$ 98,063,385,994</b>
<b>AIU 30%</b>	<b>\$ 29,419,015,798</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>\$ 127,482,401,793</b>

## 7. DISCUSIÓN

En comparación con otros proyectos similares en la región, el valor del presente proyecto de desdoblamiento, al adaptarse a la calzada existente, se estima en veinte mil millones de pesos (\$20.000.000.000). La proyección actual del proyecto sitúa su valor en nueve mil novecientos millones de pesos (\$9.900.000.000), lo que representa un ahorro significativo del 50.5%. Este enfoque económico demuestra la viabilidad financiera del proyecto.

El proyecto se beneficiará directamente del peaje de Alto de Palmas, cuya capacidad de tránsito diario (TPD) alcanza los 24,900 vehículos. En un análisis detallado, considerando tasas de crecimiento proyectadas del 3.06%, se anticipa que el peaje generará ingresos consistentes a lo largo del tiempo. Estas proyecciones de recaudo del peaje, respaldadas por la robustez del flujo vehicular y las tasas de crecimiento esperadas, se revelan como recursos financieros sólidos para sustentar el proyecto en un periodo estimado de 15 años. La viabilidad económica del proyecto se ve fortalecida gracias a la capacidad de autofinanciamiento derivada de los ingresos proyectados del peaje de Alto de Palmas, consolidando así su sostenibilidad a medio y largo plazo.

La transformación de la vía en una doble calzada se presenta como una estrategia integral con impactos positivos a corto, mediano y largo plazo. En el corto plazo, la mejora directa en la capacidad de la vía se traducirá en una reducción de la congestión y una mayor fluidez del tráfico, lo que se traduce en tiempos de viaje más cortos y una disminución de los embotellamientos en horas pico. Esta inmediata optimización de la experiencia de conducción no solo mejora la eficiencia, sino que también contribuye a la seguridad vial y reduce la probabilidad de accidentes relacionados con la congestión.

Mirando hacia el mediano plazo, la expansión de la capacidad de la vía anticipa y acomoda el crecimiento proyectado en el volumen de tráfico. Este enfoque preventivo asegura que la infraestructura vial pueda manejar de manera sostenible el aumento esperado de la población y la actividad económica en la región. Evitar limitaciones de capacidad en el futuro es esencial para mantener la movilidad y respaldar la economía local.

En el largo plazo, la transformación en doble calzada se alinea con una visión de desarrollo sostenible y mejora la calidad de vida para los residentes y usuarios. Más allá de la mera capacidad vial, el proyecto promueve la seguridad, eficiencia y atractivo económico. Facilita el acceso a áreas comerciales, fomenta inversiones y estimula el crecimiento económico al propiciar el desarrollo de nuevas actividades empresariales en la región.

El diseño geométrico del desdoblamiento, ajustado según criterios específicos y considerando las características del terreno montañoso, demuestra una planificación cuidadosa. A pesar de las limitaciones en el alineamiento vertical, la proyección de pendiente transversal mitiga estos efectos. La consideración de obras y accesos existentes en el diseño vertical, junto con parámetros de seguridad para doble calzada en el diseño horizontal, reflejan un enfoque integral.

## 8. REFERENCIAS

- Alcaldía de medellín. (2010). *Señalización vial*. Medellín.
- Alcaldía de Rionegro. (2020). *ESTUDIO DE CRECIMIENTO URBANO EN RIONEGRO, ANTIOQUIA-COLOMBIA*. Rionegro.
- Antioquia Datos. (Enero de 2022). *Gobernación de Antioquia*. Obtenido de Departamento administrativo de planeación: <https://www.antioquiadatos.gov.co/>
- ARGOS. (2022). *Qué es la planeación de obra y por qué es importante para la construcción*.
- Avedaño, R. F. (2019). *RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA MEJORAR LA MOVILIDAD EN CARRERA PRIMERA RUTA 50 DEL MUNICIPIO DE FACATATIVA COON SISTEMAS DE TRASNPORTE INTELIGENTE Y SIMULACIONES EN EL SOFTWARE AIMSUN*. Bogotá.
- Brito-Vallina, M. (2011). *Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros*. La Habana.
- Cabrera, J. (2012). *Calibración de modelos hidrologicos*.
- Cal, R., & Cardenas, J. (1982). *Ingeniería de transito: fundamentos y aplicaciones*. Mexico: Alfaomega.
- Camara de comercio del Oriente Antioqueño. (2020). *Concepto economico del Oriente Antioqueño*.
- Camara de comercio Oriente Antioqueño. (2023). *Competitividad en el Oriente Antioqueño*. ANIF. Obtenido de Competitividad en el oriente Antioqueño: <https://ccoa.org.co/wp-content/uploads/2023/06/COMPETITIVIDAD-EN-EL-ORIENTE-ANTIOQUENO-2023-vf.pdf>
- Campo Enriquez, K. M., & González Jaramillo, J. C. (2021). *PROPUESTA DE ALTERNATIVA PARA LA INTERSECCIÓN ENTRE LA AUTOPISTA SUR Y LA AVENIDA PILSEN EN ITAGÜÍ, ANTIOQUIA*. Envigado.
- Codazzi, I. g. (28 de Enero de 2018). *Colombia potencia de la vida*. Obtenido de MAGNA SIRGAS: <https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/magna-sirgas>
- Feldman, O. (2010). *THE GEH MEASURE AND QUALITY OF THE HIGHWAY ASSIGNMENT MODELS*. Londres.
- Fernández, R. (2010). Elementos de la teoría del trafico vehicular. En R. Fernández, *Elementos de la teoría del trafico vehicular* (págs. 8-9). Lima.
- Gómez, J. M. (2019). *Notas de clase*. Envigado.

- INVIAS. (11 de Abril de 2013). *Colombia potencia de la vida*. Obtenido de Manual de diseño Geométrico: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/985-manual-de-diseno-geometrico>
- INVIAS. (2015). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito*. Bogotá.
- INVIAS. (6 de Mayo de 2022). *Instituto nacional de vías*. Obtenido de Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles 2022: <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/43-inicio/4035-manuales-de-de-capacidad-y-niveles-de-servicio-para-vias-y-carreteras-de-colombia>
- Kineo ingeniería. (2020). *Aforo y clasificación vehicular: uso de sensores en pavimento*. Valladolid.
- Ilopis, J. D. (2012). *Análisis de los sistemas de velocidad variable*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Mejía, A. d. (2016). *Comparación de un enfoque macroscópico y otro microscópico al estimar las demoras por la congestión urbana*. Medellín.
- Namirial Strato. (2 de Febrero de 2019). Obtenido de <https://www.edilizianamirial.it/>
- Ortuzar, J. d., & Willumsen, L. (2011). *Modelling Transport*.
- Riascos, M., & pabon, S. B. (1 de Diciembre de 2016). *Researchgate*. Obtenido de Evaluación técnica mediante procesos de micro simulación en tres intersecciones en Montería, Córdoba.: [https://www.researchgate.net/publication/320820089\\_Evaluacion\\_tecnica\\_mediant\\_e\\_procesos\\_de\\_micro\\_simulacion\\_en\\_tres\\_intersecciones\\_en\\_Monteria\\_Cordoba](https://www.researchgate.net/publication/320820089_Evaluacion_tecnica_mediant_e_procesos_de_micro_simulacion_en_tres_intersecciones_en_Monteria_Cordoba)
- Romero, W. E. (2017). *Diseño y validación de un modelo matemático para simulación de tráfico vehicular aledaño a la ruta del tranvía en el centro de la ciudad de Cuenca usando autómatas celulares*. Cuenca.
- Universal Distrital Francisco Jose de Caldas. (13 de Septiembre de 2013). *studocu*. Obtenido de Norma Técnica de Servicio: <https://www.studocu.com/co/document/universidad-distrital-francisco-jose-de-caldas/topografia/ns-030-v-normativa/42828763>
- Villegas, G. I. (2021). *Notas de clase de construcción de vías*. Envigado.