

**FORMULACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y USO DE PLACA-HUELLA
PARA LA VÍA ALTERNA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE LA MESA Y TENA
(CUNDINAMARCA)**

**DAVISON ALONSO CORREA CARVAJAL
TOMAS DAVID SUAREZ RODRIGUEZ**



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

TRABAJO DE GRADO

BOGOTÁ

2019

**FORMULACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y USO DE PLACA-HUELLA
PARA LA VÍA ALTERNA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE LA MESA Y TENA
(CUNDINAMARCA)**

Trabajo para obtener el título como Ingeniero Civil

DAVISON ALONSO CORREA CARVAJAL

TOMAS DAVID SUAREZ RODRIGUEZ

Director

ING. SERGIO MIGUEL GONZALEZ

Asesora

ING. RUBBY STELLA PARDO PINZÓN

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ**

2019

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	10
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN	15
DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	17
OBJETIVOS	19
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos	19
JUSTIFICACIÓN	20
ALCANCE Y LIMITACIONES	22
LOCALIZACIÓN.....	23
1. ANTECEDENTES	25
2. MARCO REFERENCIAL.....	27
2.1. Marco histórico	27
2.2. Marco conceptual	28
2.2.1. Diseño geométrico de carreteras	28
2.2.2. Planteamiento estructural de la Placa-huella.....	35
2.3 Marco económico-social	41
2.4. Marco legal.....	43
3. METODOLOGÍA	45
4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	48
4.1. Observación preliminar	48
4.2. Rutas alternas	51
4.2.1. Ruta La Gran Vía – La Mesa – El Ocaso	52
4.2.2. Ruta La Gran Vía – Anatoli – El Ocaso	53
4.3. Estudio de movilidad	54
4.3.1. Aforo vehicular	54
4.3.2. Tránsito atraído por el proyecto	55
4.3.3. Incremento del tránsito	57
4.3.4. Determinación del tránsito promedio diario.....	57

4.3.5. Cálculo del factor camión ponderado.....	58
4.3.6. Número de ejes equivalentes acumulados.....	59
4.3.7. Dimensiones iniciales.....	60
5. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO	63
5.1. Posicionamiento con GPS.....	63
5.2. Levantamiento topográfico	67
5.2.1. Planimetría	67
5.3. Estudio geotécnico	74
6. TRABAJO DE INGENIERÍA	78
6.1. DISEÑO EN PLANTA	83
6.1.1. Velocidades	85
6.1.2. Radios de curvatura.....	86
6.1.3. Tipos de curvatura.....	87
6.1.4. Elementos de las curvas	88
6.1.5. Sobreanchos	91
6.1.6. Peraltes.	93
6.2. DISEÑO EN PERFIL	95
6.2.1. Curvas verticales	95
6.2.2. Alineamiento vertical	96
6.3. ESTRUCTURA DE PLACA HUELLA	101
6.3.1. Características de los materiales	102
6.3.2. Dimensiones de la estructura.....	103
6.3.3. Concreto reforzado	104
7. SEÑALIZACIÓN E ILUMINACIÓN PÚBLICA.....	107
7.1. SEÑALIZACIÓN Y REGULACIÓN DEL TRÁNSITO.....	107
7.1.1. Señalización vertical	107
7.1.2. Resalto portátil	110
7.2. ILUMINACIÓN DE LA VÍA.....	111
8. RECOMENDACIONES.....	114
8. CONCLUSIONES	116
9. REFERENCIAS.....	118
10. ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Velocidad de diseño (Vd) en función del tipo de carretera y terreno.....	29
Tabla 2: Dimensiones principales de vehículos de diseño.....	31
Tabla 3 Pendiente media máxima (%) en función de la velocidad de diseño (Vd).	32
Tabla 4 Factores de equivalencia del Factor camión a nivel nacional.....	36
Tabla 5: Rata de crecimiento anual de vehículos.....	37
Tabla 6: Factor direccional con relación al ancho de calzada.	38
Tabla 7: Factor de distribución para el carril de diseño.....	39
Tabla 8: Categorías del tránsito.	40
Tabla 9: Clasificación de la subrasante.....	41
Tabla 10: Aportes al valor agregado del país por el departamento de Cundinamarca. ..	42
Tabla 11: Actividades para el cumplimiento de los objetivos.	46
Tabla 12: Observación preliminar.	49
Tabla 13: Resumen conteo vehicular.....	55
Tabla 14: Tránsito atraído por el proyecto.....	56
Tabla 15: Tránsito promedio diario futuro.....	58
Tabla 16: Factor camión ponderado.	58
Tabla 17: Parámetros para el cálculo de ejes equivalentes.	59
Tabla 18: Cálculo de ejes equivalente por cada año de estudio.....	60
Tabla 19: Equipos usados para el posicionamiento GPS.....	63
Tabla 20: Tiempos de rastreo.....	64
Tabla 21: Resumen de coordenadas obtenidas.	65
Tabla 22: Registro fotográfico posicionamiento por GPS.....	66
Tabla 23: Registro fotográfico de levantamiento topográfico.	68
Tabla 24: Proyecciones de llegada en la poligonal abierta.	71
Tabla 25: Registro fotográfico del estudio geotécnico.	75
Tabla 26: Registro fotográfico del estudio geotécnico II.....	77
Tabla 27: Silueta existente en el terreno.	79
Tabla 28. Tabla resumen cálculos preliminares.....	84
Tabla 29. Parámetros de alineamiento horizontal.....	85
Tabla 30. Velocidades específicas.	86
Tabla 31. Radios de curvas y entre tangencia.....	87
Tabla 32. Resumen de elementos de curvas simples.	89

Tabla 33. Resumen ubicación de puntos importantes de las curvas en el terreno.	91
Tabla 34. Resumen Sobreanchos en las curvas.	92
Tabla 35. Resumen peraltes en las curvas.	93
Tabla 37: Tabla de áreas y volúmenes de corte y relleno	97
Tabla 38: Longitud de visibilidad de la curva vertical	99
Tabla 39: Cotas cada metro de curva vertical 1	100
Tabla 40: Clases de iluminación según RETILAP	111
Tabla 41: Clasificación de la superficie según RETILAP	112
Tabla 42: Características de luminancia e iluminación del alumbrado	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica del proyecto.....	23
Figura 2: Ingreso A por la vía La Mesa - Mosquera.....	24
Figura 3: Ingreso B por la vía La Gran Vía - La Esperanza	24
Figura 4: Tipo de vehículo.....	30
Figura 5: Representación vertical del terreno.	31
Figura 6: Diagrama de masas.....	33
Figura 7: Sección Transversal típica para vías terciarias.....	34
Figura 8: Taludes.	35
Figura 9: Participación porcentual en actividades económicas en el año 2014.....	42
Figura 10: Metodología del proyecto.....	45
Figura 11: Ruta La Gran Vía - La Esperanza.	52
Figura 12: Ruta La Gran Vía - San Javier - El Ocaso.....	53
Figura 13: Ruta La Gran Vía - Anatoli - El Ocaso.	53
Figura 14: Camión C-3.	61
Figura 15: Zona de cruce tipo 1.	62
Figura 16: Zona de cruce tipo 2.	62
Figura 17: Ubicación de las placas a georreferenciar con el posicionamiento.	64
Figura 18: Representación en planta de la zona de estudio.	72
Figura 19: Representación en perfil de la zona de estudio.	73
Figura 20: Resumen resultados ensayo CBR- Cono dinámico de penetración.	76
Figura 21: Observación paramentos en planta.....	81
Figura 22. Superficie de la vía existente.....	82
Figura 23. Alineamiento eje y borde vía (izq. y der.).....	83
Figura 24. Alineamiento preliminar horizontal.	84
Figura 25. Elementos del empalme circular simple.....	89
Figura 26. Resumen Perfil del terreno.	96
Figura 27. Resumen alineamiento vertical.....	96
Figura 28. Curva vertical 8	101
Figura 29: Distribución de los espesores y anchos de los elementos estructurales de la Placa-huella.....	103
Figura 30: Sección trasversal en curva de 45° a 90° y sobreancho de 1.35m	104
Figura 31: Sección de placa huella y Riostra vista en planta.....	105

Figura 32: Distribución de aceros sentido transversal riostra.	105
Figura 33: Acero de la riostra.	105
Figura 34: Distribución y empalmes sentido longitudinal.	106
Figura 35: estribos del bordillo.	106
Figura 36: Características señalización velocidad máxima	108
Figura 37: Características señalización curva y contracurva	108
Figura 38: Características señalización curva pronunciada	109
Figura 39: Características señalización pendiente fuerte de descenso.....	109
Figura 40: Estoperoles y resaltos en la vía.....	110
Figura 41: Características de los resaltos y estoperoles.....	110
Figura 42: Distribución de luminarias sobre la vía.....	113

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Conteo vehicular día martes 10 de octubre de 2017; **Error! Marcador no definido.**

Anexo 2: Conteo vehicular día miércoles 11 de octubre de 2017 ..; **Error! Marcador no definido.**

Anexo 3: Conteo vehicular día jueves 12 de octubre de 2017; **Error! Marcador no definido.**

Anexo 4: Conteo vehicular día viernes 13 de octubre de 2017; **Error! Marcador no definido.**

Anexo 5: Conteo vehicular día sábado 14 de octubre de 2017; **Error! Marcador no definido.**

Anexo 6 INFORME DE GEORREFERENCIACIÓN ...; **Error! Marcador no definido.**

Anexo 7. ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO); **Error! Marcador no definido.**

Anexo 8: Tablas de valores de CBR DCP; **Error! Marcador no definido.**

GLOSARIO

1. **Alineamiento**: Es la proyección del eje de la vía sobre un plano horizontal, el cual está compuesto por rectas y curvas horizontales. (INVIAS, 2008)
2. **Ángulo de deflexión**: Corresponde al ángulo que se forma con la prolongación de uno de los alineamientos rectos y el siguiente. Puede ser a la izquierda o a la derecha según si está medido en sentido anti-horario o a favor de las manecillas del reloj. (Jiménez, 2007)
3. **Apiques**: Herramienta de exploración realizada en el suelo a una profundidad puntual de 1.50 metros, con área mínima es de 1,50 x 1,50 m², cuyo propósito es caracterizar el material que se desea trabajar. (Abril, 2019)
4. **Berma**: Es la franja comprendida entre el borde de la calzada y la cuneta. Cumple la función de proporcionar protección al pavimento y ofrece espacio adicional para maniobras de emergencia. (INVIAS, 2008)
5. **Bombeo**: Es la pendiente transversal de la corona en los tramos rectos del alineamiento horizontal hacia uno u otro lado del eje para evacuar las aguas lluvias de la vía y evitar el fenómeno de hidropelano. (Agudelo, 2002)
6. **Calzada**: Corresponde a la parte de la corona destinada a la circulación de los vehículos y está constituida por dos o más carriles. (INVIAS, 2008)
7. **Capacidad portante**: Es la capacidad que tiene un suelo de soportar una estructura y las presiones que esta genere, es decir, la resistencia máxima del suelo a una carga por unidad de área que le ocasionaría falla por cortante. (Chen Lui, 2004)
8. **CBR**: Relación de Soporte de California, es la medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. (INVIAS, 2017a)
9. **Concreto ciclópeo**: Mezcla de concreto simple en el cual se incorporan fragmentos de roca grande o mediana sin reforzamiento, a una relación de sesenta por ciento (60%) de

concreto simple y el cuarenta por ciento (40%) restante de rocas de tamaño máximo de 10". (INVIAS, 2017a)

10. **Corona:** Superficie de la carretera comprendida entre los bordes externos de las bermas, o sea las aristas superiores de los taludes del terraplén y/o las inferiores de las cunetas. (Agudelo, 2002)
11. **Cuneta:** Son zanjas abiertas y longitudinales, construidas en concreto o en tierra, que tienen la función de recoger y canalizar las aguas superficiales y de infiltración y conducirlas hasta un punto de fácil evacuación. (Agudelo, 2002)
12. **Eje:** Línea de referencia equidistante de los bordes de la vía (INVIAS, 2008)
13. **Entre tangencia:** Magnitud en línea recta entre la salida de una curva antecesora y la entrada a la siguiente curva. (Agudelo, 2002)
14. **Escorrentía:** Agua lluvia que discurre por la superficie de un terreno (RAE, s.f)
15. **Juntas:** Corresponden a elementos utilizados en el proceso constructivo de la placa-huella para garantizar la transmisión homogénea de las cargas y deformaciones a lo largo y ancho de los elementos. (INVIAS, 2017b)
16. **Nivelación:** La nivelación en topografía es un proceso de medición de elevaciones o altitudes de puntos sobre la superficie de la Tierra. Entendiéndose por elevación o altitud a la distancia vertical medida desde una superficie de referencia hasta el punto considerado. (Casanova, 2002)
17. **Peralte:** Es la pendiente transversal que se le da a la calzada en tramos curvos con el fin de contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga y evitar que los vehículos se salgan de la vía. (Agudelo, 2002)
18. **Poligonal:** Es una sucesión de líneas quebradas, conectadas entre sí en los vértices. Se usan generalmente para establecer puntos de control y puntos de apoyo para el levantamiento de detalles y elaboración de planos. (Wolf & Brinker, 2006)

19. **Rasante**: Se refiere al terreno compuesto por el suelo natural subyacente al afirmado existente en la zona. (INVIAS, 2017b)
20. **Riostra**: Es una viga transversal de concreto reforzado en la que su acero de refuerzo se entrecruza con el acero de refuerzo de la placa-huella del módulo anterior y con el acero de refuerzo de la placa-huella del módulo siguiente. (INVIAS, 2017b)

RESUMEN

La vía que comunica las inspecciones de la Gran Vía del municipio de Tena y La Esperanza del municipio de La Mesa en el Departamento de Cundinamarca, presenta en la abscisa K0+800m un movimiento de tierra en el terraplén a lo largo de 200 metros de la misma que redujo la calzada a un poco menos de un carril, donde el flujo vehicular se ha vuelto intermitente y con restricciones para vehículos de más de 4 toneladas. Por tal motivo, se presenta el diseño geométrico de una vía alterna que permite solucionar los problemas de movilidad del sector y cumple con la normativa regida por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Además, se determina el uso de la placa-huella como superficie de rodadura, debido a las altas pendientes que se encuentran en la zona y la presencia de material rocoso grava que favorecen su construcción.

Para establecer los factores necesarios para el diseño geométrico de la calzada, se realizó una georreferenciación mediante el uso de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés), que permitieran un levantamiento topográfico de precisión usando una estación total y una nivelación a partir de un nivel óptico, con el fin de obtener la representación gráfica del terreno en estudio. A su vez se realizó unos ensayos de Relación de Soporte de California (CBR) por medio del uso de moldes con muestras inalteradas y unos ensayos en campo con el cono dinámico de penetración, para poder caracterizar el suelo y luego determinar la capacidad de soporte.

Finalmente, se presenta un proyecto de infraestructura vial que contempla el diseño geométrico de los elementos de la vía, la elección del tipo de placa-huella que más se ajusta a las exigencias presentes en la zona de trabajo y los criterios de regulación del tránsito, donde el apoyo de software computacionales como ArcGIS y CivilCAD3D permiten un trabajo cercano a la realidad.

Palabras claves: Vía terciaria, Vía, Diseño geométrico, Movilidad y Placa-huella.

ABSTRACT

The road that communicates the inspections of the “Gran Via” of the town of “Tena” and “La Esperanza” belonging to the town of “La Mesa” in the department of “Cundinamarca”, presents on the abscissa K0 + 800m a movement of earth on the embankment along 200 meters of the same that reduced the road to a little less than a lane, where the vehicular flow has become intermittent and with restrictions for vehicles of more than 4 tons. For this reason, the geometric design of an alternative route is presented that allows solving the mobility problems of the sector and complies with the regulations governed by the National Institute of Roads (INVIAS). In addition, the use of the footprint plate is determined as a rolling surface, due to the high slopes found in the area and the presence of rocky gravel material that favor its construction.

To establish the necessary factors for the geometric design of the roadway, a georeferencing was carried out through the use of a Global Positioning System (GPS), which allowed a precision topographic survey using a total station and a leveling to from an optical level, in order to obtain the graphic representation of the land under study. At the same time, tests of the California Support Ratio (CBR) were carried out using molds with undisturbed samples and field tests with the dynamic cone of penetration, in order to characterize the soil and then determine the support capacity.

Finally, a road infrastructure project is presented that includes the geometric design of the elements of the road, the choice of the type of footprint that best suits the requirements in the work area and the traffic regulation criteria, where the support of computer software such as ArcGIS and CivilCAD3D allow a work close to reality.

Key words: Road tertiary, Road, Geometric design, Mobility and Plate-footprint.

INTRODUCCIÓN

La red nacional de carreteras representa el mecanismo de conexión entre las fuentes de producción de materias primas, bienes y servicios, con los diferentes mercados existentes en el territorio colombiano, donde la comodidad, seguridad y funcionalidad de estas arterias viales determinan la estabilidad financiera del país. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se hace necesario tener carreteras en perfecto estado, tanto en lo urbano como en lo rural, pues es desde allí donde inicia la actividad económica del país.

A continuación, se desarrolla un proyecto de infraestructura vial que lleva consigo la premisa de cumplir con los aspectos de comodidad, seguridad y funcionalidad de una vía rural alterna. Este proyecto se muestra como solución al problema de movilidad existente entre los municipios de Tena y La Mesa, sobre la carretera que conduce desde La Gran Vía hasta Cachipay, puesto que los movimientos de tierras ocurridos en la abscisa K0+800m afectaron la estructura del pavimento al presentar una reducción de la sección transversal de la misma, lo que obligó a un control del paso y generó congestión vehicular.

El proyecto consistió en el diseño de los elementos geométricos del trazado de la vía, contemplando las condiciones en el relieve del terreno, las características naturales del subsuelo y los parámetros de movilidad. Además, se determinó el uso de una superficie de rodadura de tipo placa-huella por la funcionalidad que exhibe en las vías terciarias. Para la ejecución del proyecto se llevó a cabo actividades cronológicas que dieron lugar a trabajo en campo guiadas por la normativa del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) que reflejaron la realidad del resultado.

En primera instancia, un diagnóstico de la situación existente nos concedió una claridad más amplia de la necesidad que subyace en la población, donde fue ineludible la elaboración de un conteo vehicular con apoyo de la entidad concesionaria de la vía DEVISAB, el cual

arrojó los parámetros de movilidad bajo los que funciona la carretera afectada por los deslizamientos.

Luego, se efectuó un estudio de ensayos técnicos de las propiedades que ofrece el terreno, que establecieron los límites críticos de diseño de la calzada. Iniciando por el posicionamiento con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de doble frecuencia, seguido de un levantamiento topográfico de precisión con estación total y nivel óptico, y finalizando con los apiques en moldes CBR y correlaciones con el cono de penetración dinámico sobre el subsuelo.

Finalmente, se compilaron los datos de cada una de las dos etapas anteriores y se dio lugar al proceso de diseño del trazado más ajustado a la silueta del terreno. Así mismo, se plantea el tipo de sección transversal de placa-huella definida con base en las dimensiones de trabajo del terreno.

Cabe resaltar, que para la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás es parte del incentivo de trabajo social que se implementa como opción de grado, para brindar apoyo a problemas que afecten a la sociedad y proporcionar soluciones dentro de los estándares del enfoque de la Institución. Además, se dio la oportunidad de desarrollar un proyecto interinstitucional con estudiantes de Tecnología en topografía de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, quienes fueron un apoyo en la etapa de ensayos y estudios.

DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Los municipios de La Mesa y Tena basan su economía en las pequeñas empresas de comercio, agricultura, ganadería y en mayor magnitud del turismo en las temporadas vacacionales gracias al clima cálido y a su cercanía a la ciudad de Bogotá, actividades que dependen directamente de la existencia y el buen estado de las vías de acceso al interior de las veredas. En tal apreciación se ve inmersa la importancia que refiere la comunicación entre las inspecciones de La Gran Vía y La Esperanza, pues permite el ingreso de visitantes a los terrenos finqueros o agrarios, y a su vez la incorporación de dinero a las zonas comerciales.

La Esperanza es una de las tres (3) inspecciones del municipio de La Mesa en el departamento de Cundinamarca a 54 kilómetros en dirección al suroeste de Bogotá. Según la proyección de poblaciones municipales realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y la oficina municipal de planeación, La Esperanza posee una comunidad de 1.495 habitantes para el año 2018, que junto con la población de las inspecciones de San Javier (795 habitantes), San Joaquín (1.552 habitantes), la cabecera municipal y la población flotante, completan un total de 32.771 habitantes en el municipio de La Mesa.

Por su parte, La Gran Vía es la única inspección ubicada en la zona occidental del municipio de Tena a 50 kilómetros de la capital del país, limita al noroeste de su extensión con el municipio de La Mesa por donde atraviesa la carretera principal La Mesa – Mosquera, cuya zona comercial y hotelera posee una población de 974 habitantes, según la proyección de la oficina administrativa de planeación y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), y que junto con la cabecera municipal y once veredas más completan 9.359 habitantes en los 55 km² de superficie en el municipio de Tena para el año 2018.

La carretera que conecta directamente ambas inspecciones presenta problemas geotécnicos que afectan la estructura del pavimento a lo largo del primer kilómetro de la vía que nace en la inspección del municipio de Tena, observándose en la abscisa K0 + 800 metros

la evidencia del punto más crítico, donde los deslizamientos de tierra y la falla del terraplén sobre el cual se soporta la vía mantienen reducida la calzada a un solo carril a lo largo de 200 metros y de no ser atendida con prontitud obligará al cierre total de la misma. Adicionalmente, la vía exhibe visualmente fallas en la superficie de rodadura durante aproximadamente 280 metros anteriores como fisuras en medialuna, piel de cocodrilo, deformaciones por ondulación, hundimiento, y afectaciones a la capa de la estructura asfáltica en baches y descascaramiento, las cuales pueden ser producto de fenómenos naturales o malas intervenciones en el mantenimiento de la vía.

Por lo anterior, se genera una alerta para buscar una alternativa frente a las consecuencias de los fenómenos que afectan la carretera, cuya tarea primordial sea permitir un paso constante que beneficie a los habitantes de los municipios y a los foráneos que por allí también frecuenten.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar geométricamente la vía alterna en la provincia del Tequendama, que por medio de la implementación de una placa-huella como superficie de rodadura, mejore las condiciones del tránsito en la zona.

Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual en la carretera La Gran Vía – La Esperanza, por medio de la inspección visual de la estructura del pavimento y recopilación de información de tránsito, que permitan determinar las exigencias de servicio de la calzada.
- Caracterizar el terreno de trabajo por medio del desarrollo de ensayos geotécnicos y topográficos, con el fin determinar los parámetros necesarios para el diseño.
- Definir la alternativa del trazado geométrico, el planteamiento estructural de la placa-huella y el sistema de regulación del tránsito e iluminación, por medio del análisis de los datos recopilados, que respondan eficientemente a las necesidades de los usuarios.

JUSTIFICACIÓN

La vía que conduce desde la Gran Vía hasta La Esperanza conforme al mal estado que presenta en la estructura del pavimento a lo largo del primer kilómetro de la misma, genera contratiempos y sobre costos en las actividades de producción de la zona, donde el transporte de la mercancía de sustento de las actividades agrarias, el transporte del sector ganadero, porcino, avícola, apícola entre otros y el ingreso de turistas a las fincas, son las más afectadas por las fallas observadas en la calzada. Dichas fallas sobre la carpeta asfáltica se evidencian en fisuras de reflexión de juntas, en media luna, baches, piel de cocodrilo y hundimiento, que no poseen análisis y medición pero se justifican por el registro fotográfico del informe.

De acuerdo con lo planteado en la Ley 1682 de 2013, en el que “Las acciones de planificación, ejecución, mantenimiento, mejoramiento y rehabilitación de los proyectos y obras de infraestructura del transporte materializan el interés general previsto en la Constitución Política al fomentar el desarrollo y crecimiento económico del país”, se plantea un proyecto de infraestructura vial que se ajusta a la normativa del Instituto Nacional de Vías y los proyectos tipo del Departamento Nacional de Planeación, al implementar el uso del sistema de placa-huella como superficie de rodadura para la vía y brindar un mejoramiento a las condiciones de movilidad de la zona.

El proyecto se ejecutó sobre un terreno montañoso con abundante pasto y en ciertas zonas con afirmado, con una sinuosidad y cambios de pendientes bruscos que permiten la implementación de un sistema de placa-huella. Además, la complejidad observada para el trabajo de topografía y diseño geométrico sobre la silueta del terreno, llevaron a la elección final de la elaboración de este proyecto. Estudios adicionales sobre el problema geotécnico presente en la carretera que conduce desde La Gran Vía hasta La Esperanza, no se realizaron

por falta de presupuesto y ausencia de equipamiento necesario para el correcto desarrollo de los ensayos por parte de los autores, por tanto no se llevó a cabo una propuesta de rehabilitación de la carretera afectada.

ALCANCE Y LIMITACIONES

El proyecto que se lleva a cabo desde agosto del año 2017, se enfoca en el diseño de una alternativa vial que garantice la seguridad, comodidad y funcionalidad de servicio para los usuarios, la cual pretende solucionar los problemas de congestión vehicular y percepción de inseguridad que se encuentran sobre la carretera La Gran Vía – La Esperanza. Teniendo en cuenta que para la caracterización de la zona y los estudios preliminares de los parámetros geotécnicos y topográficos se tuvo como guía la sección 100 de las normas de ensayos de materiales para carreteras y las especificaciones generales de construcción para carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Con relación al diseño geométrico de la calzada, se elaboró siguiendo las especificaciones del Manual de diseño de vías del Ingeniero James Cárdenas. Respecto a la elección de las dimensiones de la placa-huella se tomó como referencia la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella, realizada por el Ministerio de Transporte en la subdirección de estudios e innovación en el año 2017, conforme a lo planteado por la Ley 1682 de 2013 sobre las vías rurales del país.

El terreno baldío sobre el cual se trabajó posee una silueta de aproximadamente 1300 metros creada por las llantas de las motocicletas y los pasos de los habitantes que transitan por el sector, dicha silueta funcionó de guía para el alineamiento definitivo de 984,79 metros en el diseño geométrico de los elementos de la vía y el uso de una sistema de placa-huella con sección transversal de 6.2 metros.

Por otro lado, el proyecto es limitado en cuanto a los recursos disponibles para presentar resultados más completos durante la ejecución de los estudios de posicionamiento, topografía y geotecnia, lo que obligó a la realización del objeto con los parámetros mínimos determinados en campo.

LOCALIZACIÓN

El trabajo se desarrolló en el Departamento de Cundinamarca a 54 kilómetros del suroeste de Bogotá, entre las inspecciones de La Gran Vía en el Municipio de Tena y La Esperanza del Municipio de La Mesa, en la provincia del Tequendama. Como se observa en la figura 1, el proyecto se basa en la conexión de las carreteras que van desde La Gran Vía en dirección hacia La Esperanza y la calzada La Mesa – Mosquera, que se permite el vínculo con la capital del país.

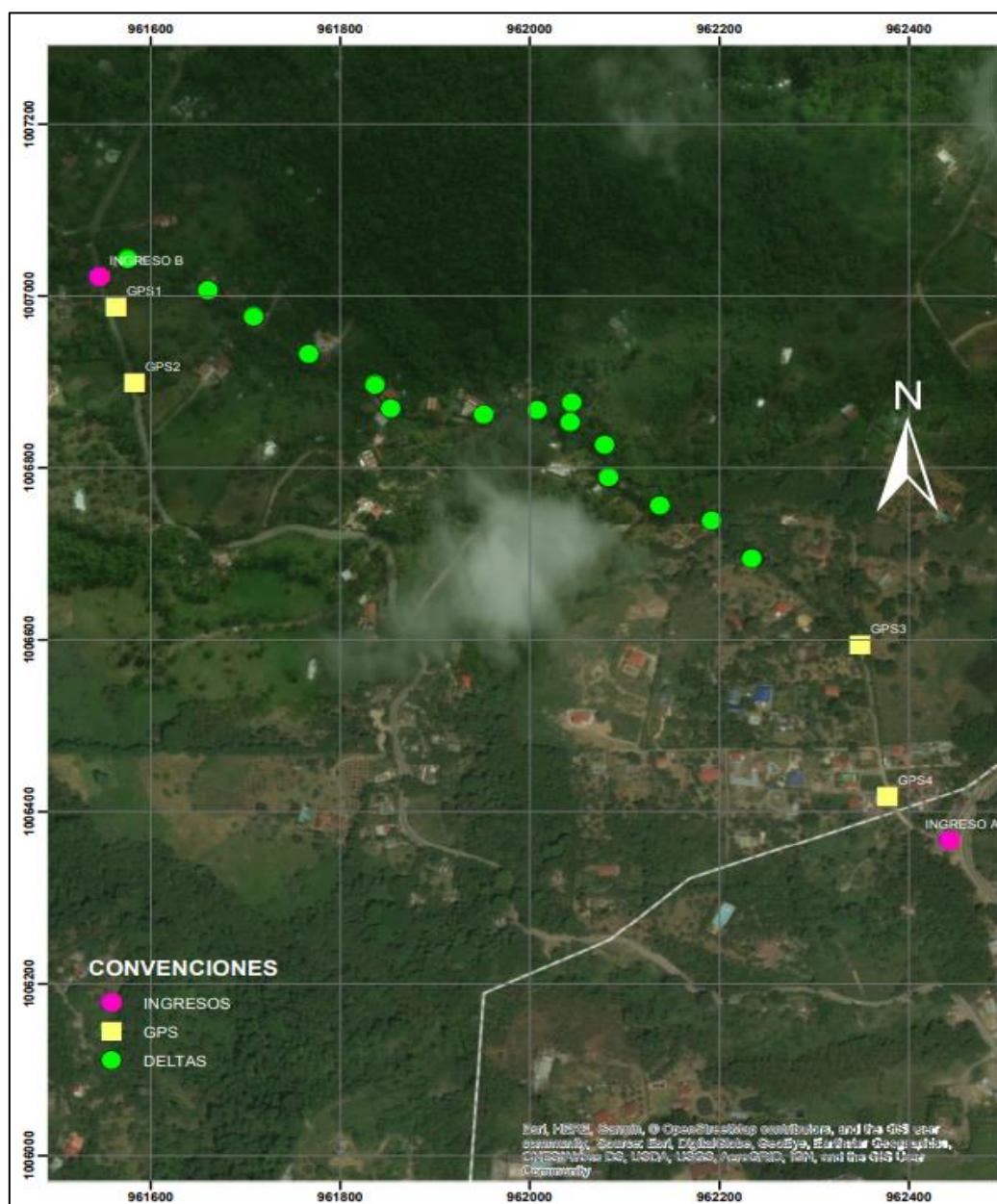


Figura 1: Ubicación geográfica del proyecto
Fuente: Elaborado por los autores (2019)

En la figura 2, se muestra que el ingreso a la vía que comprende un terreno baldío de aproximadamente 1300 metros se da en la abscisa K77+200 metros en la vía que conduce desde La Mesa hacia el Municipio de Mosquera, justo en el desvío del piqueteadero El Camino.



Figura 2: Ingreso A por la vía La Mesa - Mosquera
Fuente: Tomado por los autores (2018)

Mientras que por el costado de La Gran Vía – La Esperanza, como se muestra en la figura 3, se da ingreso a la vía en el segundo (2) kilómetro de la vía, antes de la llegada a la finca La Sirenita.



Figura 3: Ingreso B por la vía La Gran Vía - La Esperanza
Fuente: Tomado por los autores (2018)

1. ANTECEDENTES

La extensión de la red vial terciaria en el país bajo el sistema de placa-huella es siempre un tema importante en las propuestas de los gobiernos entrantes al poder, donde de acuerdo a lo planteado por el Decreto 2618 de 2013, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) debe “Elaborar conjuntamente con el Ministerio de Transporte los planes, programas y proyectos tendientes a la construcción, reconstrucción, mejoramiento, rehabilitación, conservación, atención de emergencias, y demás obras que requiera la infraestructura de su competencia” (Ministerio de Transporte, 2013), se creó el programa “Caminos para la prosperidad” cuyo fin natural es el de brindar apoyo a la construcción, mantenimiento y conservación de la red terciaria como mecanismo de progreso económico en el país.

En el año 2016 se presenta el proyecto tipo para el Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa-huella, bajo el lema de soluciones ágiles para un nuevo país por parte del Departamento Nacional de Planeación, el cual lo define como:

“Modelo que facilita la formulación de un proyecto para la construcción de una placa-huella dada la finalidad de mejorar las vías terciarias en el territorio colombiano, que puede ser implementado por las entidades territoriales en caso de que se cumple con las características de tipo de suelo, pendiente longitudinal y control de condiciones críticas que pueden afectar a la vía.”

El Ministerio de Transporte en el año 2017 realizó un manual guía y metodológico para el diseño de pavimentos con placa-huella, donde se presentaron cinco (5) capítulos que imparten parámetros para conocer los dictámenes y criterios de estructuración de un proyecto de rehabilitación y construcción vial en los sectores rurales del país. Este manual se publica junto con los archivos de sustento, luego del dictamen de la Resolución 4401, donde “Se adopta la guía de diseño de pavimentos con placa-huella, para el diseño y construcción de vías terciarias” (Ministerio de Transporte, 2017).

El trabajo “Diagnostico de vía actual y propuesta de diseño geométrico del tramo K0+000 hasta el K3+000 de la vía que comunica al municipio de Tena con Los Alpes (Cundinamarca)” desarrollado en la Universidad de La Salle por los ingenieros José Luis Zea, Gustavo Adolfo Ortiz y Pablo Andrés Zamudio en el año 2009, en donde la geometría vial desactualizada, el mal aspecto y deterioro en la vía, genera la necesidad de la rehabilitación del tramo vial para mejorar las condiciones de transito por la zona. De este trabajo se resalta la cercanía del proyecto, la terminología y los parámetros de diseño que funcionaron como guía para el planteamiento geométrico de la vía, de acuerdo a las condiciones rurales que presenta la zona.

Por otro lado, se tiene acceso al trabajo de especialización en Ingeniería de Pavimentos presentado en 2015 por el Especialista Diego Fernando Arellano en la Universidad Militar Nueva Granada denominado “Rehabilitación de vías terciarias con el sistema de Placa-huella”, en donde se destaca la práctica de la teoría que se venía usando desde 2007 para el mantenimiento de las vías terciarias por medio de la placa-huella, en este caso en el Departamento del Cesar. Este trabajo de grado sirvió como medio de comparación teórico-práctica con la guía de diseño de pavimentos con placa-huella, que hasta el 2017 se planteó como un sistema constructivo por el Ministerio de Transporte.

Finalmente, para alinear y complementar la teoría respectiva del proyecto se emplea la cartilla “Diseño y construcción de Placa-Huella” presentada a la facultad de Ingeniería Civil en la Universidad Distrital por los Ingenieros Félix Andrés Contreras, Juan Camilo Muñoz y Hernando Villota en el año 2015, donde se destaca el registro fotográfico de la construcción de un proyecto tipo como medio de comprensión del proceso de diseño. Además del uso del programa computacional Ecuación AASHTO 93 para la determinación de los espesores de las capas del pavimento, teniendo en cuenta una serie de parámetros que se definen en el modelo dinámico de la norma.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco histórico

La característica natural de progreso del ser humano lleva a la creación de varios argumentos que le permitieran satisfacer la necesidad de movilizarse desde un punto hacia otro. En este sentido como lo resalta Osorio (2014), las civilizaciones antiguas se vieron inducidas a la construcción de caminos empedrados, por haber desarrollado sus civilizaciones sobre las cordilleras y atravesar largos terrenos, cruzando ríos en busca de mercados distantes que les permitiera adelantar actividades de comercio basado en el “trueque”.

Luego de la llegada del primer automóvil al país “Un De Dion-Bouton tipo D de tres puestos, traído por el empresario antioqueño Carlos Coriolano Amador el 19 de octubre de 1899” (Silva, 2013), iniciaría un proceso de beneficios económicos y sociales para el país, ya que la comercialización de estos automóviles traería consigo la necesidad de proporcionar una mejor estructura que soporte las cargas de las llantas, permita un buen agarre y favorezca el transporte ágil de las personas, lo que se transformaría en los primeros caminos pavimentados.

Inicialmente los caminos pavimentados se realizaban para unir las cabeceras de las ciudades económicamente importantes, puesto que su costo de inversión era alto y radicaba una necesidad mayor, dejando a un lado las vías rurales. No obstante, a partir del 2007 se inició un proceso en el país, de construcción y rehabilitación de los caminos rurales por medio de uso del sistema placa-huella, “Una mezcla de agregado ciclópeo en una proporción al 40% del volumen total y un concreto de 140 kg/cm² sobre una base granular, que presenta un gran comportamiento tanto económico como estético, en las vías rurales del país.” (Arellano, 2015)

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Diseño geométrico de carreteras

“Describe los criterios, normas y procedimientos de ingeniería usados para diseñar los elementos principales del alineamiento de una carretera, sus secciones transversales y el ambiente adyacente a lo largo del camino” (Wright & Dixon, 2010). Es decir, la configuración de una serie de parámetros horizontales y verticales que se ajustan a las condiciones de visualización, reacción y capacidad de los usuarios, brindándoles seguridad y comodidad para transitar.

2.2.1.1. Línea de ceros o preliminar

Corresponde al trazado preliminar de líneas rectas que unen puntos estratégicos en la cartografía de la zona y que a su vez van trazando una ruta inicial que sirven de bosquejo para el trazo final del eje primario. Estos puntos estratégicos “Son aquellos puntos obligados por los que necesariamente deberá pasar la vía, ya sea por razones técnicas, económicas, sociales o políticas; como por ejemplo: poblaciones, áreas productivas, puertos, puntos geográficos, valles y depresiones” (Cárdenas, 2002).

2.2.1.2. Diseño en planta

Es la proyección del eje real de la carretera sobre un plano horizontal dado por el estudio topográfico en la zona, “Definido por la línea preliminar, enlazados por curvas circulares o curvas de grado de curvatura variable de modo que permitan una transición suave y segura al pasar de tramos rectos a tramos curvos o viceversa” (Agudelo, 2002). El dimensionamiento de los principales elementos en el diseño de la vía, se basan en la cartografía de la zona, en las características del tránsito y en la velocidad del proyecto.

- **Tipo de terreno**

La topografía de la zona tiene influencia considerable en la selección final del alineamiento, ya que cada uno de los tres (3) tipos de terrenos (plano, ondulado y montañoso) presenta unas condiciones críticas que se deben tener en cuenta a la hora de dimensionar. Como lo menciona Wright & Dixon (2010), los terrenos planos son limitados por el costo del derecho de vía o el uso del suelo; los terrenos ondulados deben considerar la curvatura y las profundidades de corte y terraplén; y las zonas montañosas el mayor problema lo presenta la pendiente que afecta directamente el alineamiento vertical del diseño.

- **Velocidad**

Es el principal parámetro que rige el diseño geométrico de la vía, puesto que “La velocidad que desarrolla un vehículo queda afectada por sus propias características, por las características del conductor y de la vía, por el volumen de tránsito y por las condiciones atmosféricas imperantes” (Crespo, 2010), de tal forma que según las características del terreno y la categoría de la vía, se debe seleccionar una de las velocidades mostradas en la Tabla 1, la cual debe brindar seguridad, comodidad y economía al transitar.

Tabla 1: Velocidad de diseño (Vd) en función del tipo de carretera y terreno.

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO Vd (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Primaria de una calzada	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Secundaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Terciaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

Fuente: Tomado del Manual de diseño geométrico de vías INVIAS (2008).

- **Tránsito**

Se entiende como la “Cantidad de vehículos de motor que transitan por un camino en determinado tiempo, teniendo en cuenta las dimensiones, el peso y la funcionalidad del mismo” (Crespo, 2010). Es claro que para el diseño geométrico es necesario determinar las dimensiones y las características del tránsito en la zona, ya que influyen en los radios de curvatura, las velocidades, las pendientes y los anchos de los elementos de la vía, por tanto, es clave tener un aforo preciso y detallado del tráfico en la zona. El tránsito se categoriza, como se muestra en la figura 4, con la finalidad de determinar la categoría de vehículo que más se ve beneficiado y afectado respectivamente, una vez realizado el proyecto.

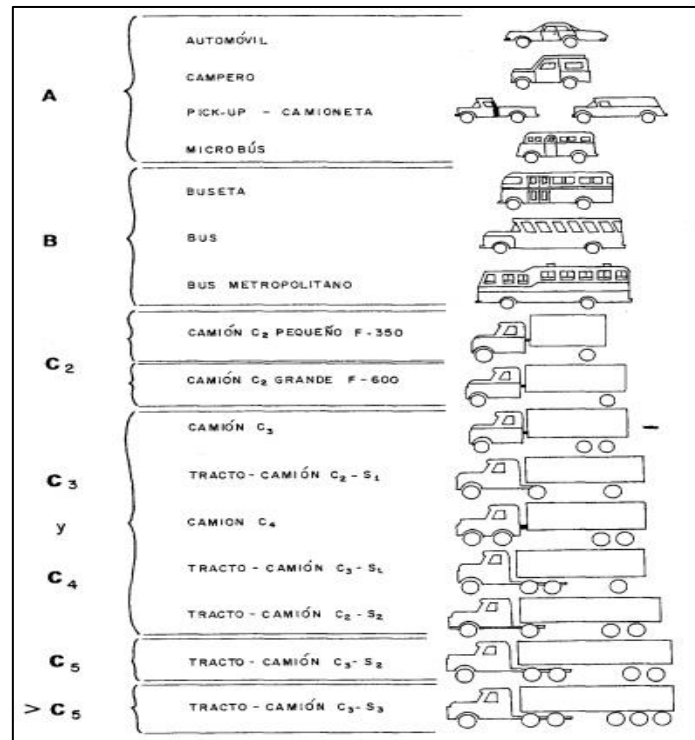


Figura 4: Tipo de vehículo.

Fuente: Tomado de Ingeniería de Pavimentos para Carreteras (Montejo, 1998).

Las dimensiones de los vehículos de diseño expuestos en la Tabla 2, son las dimensiones estipuladas en el 2008 por INVIAS en el Manual de diseño geométrico de vías, las cuales comprenden los valores necesarios para determinar el radio de curvatura, las secciones de diseño de la calzada y demás parámetros iniciales, para dar lugar al alineamiento final.

Tabla 2: Dimensiones principales de vehículos de diseño.

CATEGORIA	LONGITUD TOTAL (m)	ANCHO (m)	LONGITUD TRACTOCAMIÓN (m)	LONGITUD SEMIREMOLQUE (m)
Vehículo liviano < 5 ton	5.00	1.80	-	-
Bus mediano	10.91	2.44	-	-
Bus grande	13.00	2.60	-	-
Camión sencillo	11.00	2.50	-	-
Dobletroque	11.40	2.50	-	-
Tractocamión	20.89	2.59	4.57	14.63

Fuente: Tomado del Manual de diseño geométrico de vías INVIAS (2008).

2.2.1.3. Diseño vertical

Consiste en “La proyección del eje principal de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo” (Agudelo, 2002), donde una serie de líneas tangentes unen curvas verticales parabólicas o circulares que van determinando la rasante de la vía. El alineamiento vertical se limita por la topografía determinada en la línea preliminar, las características de visibilidad de la carretera, las cantidades de movimientos de tierras y la pendiente final.

- **Perfil**

Corresponde a “La representación de un plano que por medio de un software especializado utiliza la información del levantamiento topográfico y la georreferenciación de detalles, para la construcción de una vista vertical que relaciona el abscisado con las cotas del terreno” (González et al, 2011). Cabe resaltar que el perfil también puede ser creado a mano, teniendo los datos planimétricos y altimétricos del eje de la vía materializado en el terreno, nivelando las estacas para dar forma al perfil del terreno en el que se va a trabajar el diseño vertical, como se ilustra en la figura 5.

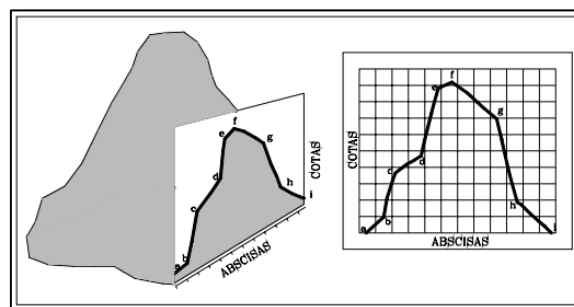


Figura 5: Representación vertical del terreno.
Fuente: Diseño geométrico de vías, Agudelo (2002).

- **Pendiente**

Se denomina como “La inclinación de un elemento ideal, natural o constructivo respecto de la horizontal” (González, Vargas & Rincón, 2011), y va delimitado por las características de velocidad de diseño y topografía de la zona, tal como se indica la Tabla 3. Comprende el parámetro más importante del diseño vertical en cuanto a costos, ya que “Pendientes bajas obligan a altos costos de construcción y pendientes altas influyen en el costo de transporte por que disminuye la velocidad, aumenta el gasto de combustible por kilómetro y el desgaste de los vehículos, especialmente en los neumáticos” (Crespo, 2010)

Tabla 3 Pendiente media máxima (%) en función de la velocidad de diseño (Vd).

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO Vd (km/h)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5
Primaria de una calzada	-	-	-	-	7	7	6	6	5	-
Secundaria	-	-	7	7	7	7	6	-	-	-
Terciaria	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Tomado del Manual de Diseño Geométrico de vías INVIAS (2008).

Cabe resaltar que el requisito de pendiente puede ser manipulado en cuanto a diseño se refiere, siempre y cuando se sustente la metodología y teoría que sostiene que es posible incrementar la inclinación de la vía, con respecto a los materiales de construcción de la vía y las velocidades que se van a manejar en la vía.

- **Diagrama de masas**

“Es una gráfica en la que se muestra la acumulación del corte y el relleno, según las distancias desde el origen. El corte se considera positivo (+) y el relleno negativo (-). El volumen de cada uno se tasa en m³” (Morales, 2008). Corresponde a los movimientos de tierras más significativos en el diseño vertical de la vía, como se expone en la figura 6, pues significan gran parte del costo y la duración del proyecto, donde es necesario tener en cuenta la capacidad de la maquinaria, el tipo de suelo, la cantidad y la profundidad o la altura según sea el caso.

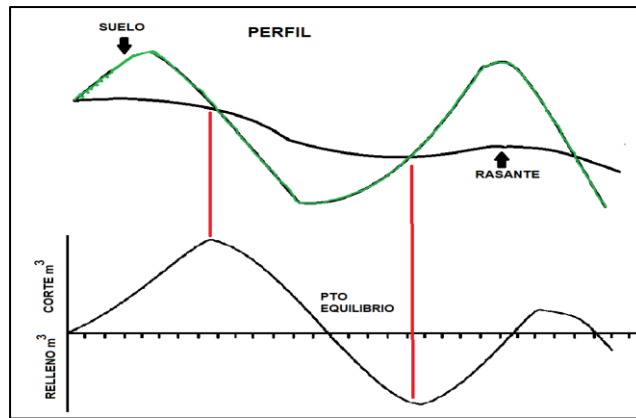


Figura 6: Diagrama de masas.

Fuente: Tomado y adaptado de Construcción y conservación de vías (2008).

Para determinar los valores máximos de corte y relleno es necesario tener en cuenta, para el caso del corte, que el costo de maquinaria y de tiempo sea el menor posible. Mientras en el caso del relleno, que se alcancen las resistencias óptimas estipuladas para la subrasante del tipo de pavimentación que se va a construir.

2.2.1.4. Diseño de la sección transversal

“Se relacionan directamente con el número de carriles de viaje que se suministran y con el ancho y la ubicación de las cunetas o las guarniciones, las fajas centrales, los taludes, los terraplenes y las fosas” (Wright & Dixon, 2010). Esta parte del proyecto consiste en una gran problemática que no solo depende del costo y de la capacidad del tránsito, como lo menciona Crespo (2010), “Una sección reducida será económica, pero su capacidad de tránsito será también reducida. Por otro lado, una amplia sección tendrá magnífica capacidad de tránsito, pero será costosa”. Sino también del comportamiento de la sección frente a los esfuerzos de las cargas de los automóviles y de la funcionalidad que va a tener la vía el cual delimita los elementos y las dimensiones de los mismos. Según el Instituto Nacional de Vías, los caminos rurales cuya superficie de rodadura consiste en una placa-huella, tan solo poseen los carriles de tránsito de los vehículos, cunetas en uno o en ambos costados y un bordillo si es necesario, como se ilustra en la figura 7.

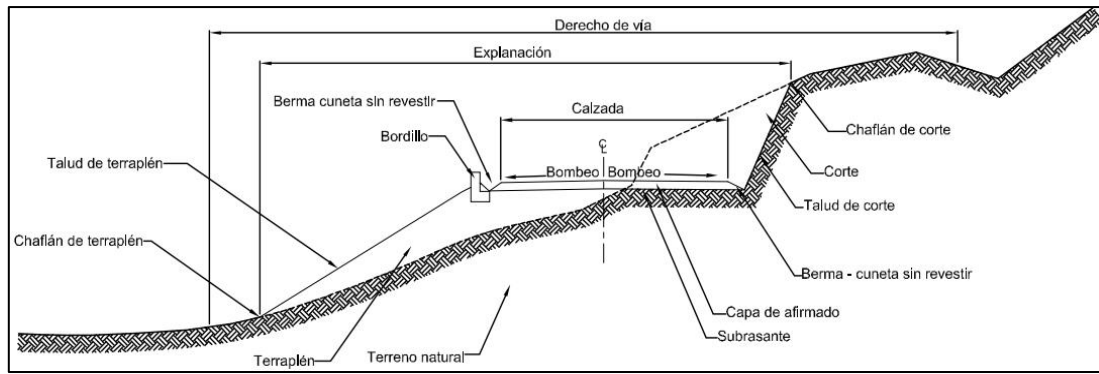


Figura 7: Sección Transversal típica para vías terciarias.

Fuente: Tomado del Manual de Diseño Geométrico para Carreteras (INVIAS, 2008).

- **Funcionalidad de la vía**

Corresponde a una previa caracterización de la zona donde se va a trabajar que permite determinar un bosquejo del tipo de tránsito que va a concurrir por la vía. “Así, para un camino turísticos que conduce a unas ruinas arqueológicas se puede asegurar que casi en su totalidad el tránsito será de automóviles de pasajeros, mientras que en un camino minero la mayoría de los vehículos serán de carga de mayor o menor tonelaje” (Crespo, 2010).

La funcionalidad es un parámetro que fundamenta la selección de los elementos de la sección transversal, por tanto si conocemos la razón de comunicación entre los dos puntos extremos de la vía, las locaciones que se encuentran sobre la zona del proyecto y las dimensiones de los vehículos que transitarán por la misma, podríamos determinar el uso o no de un separador, de una berma que permita paradas ocasionales, las dimensiones y la cantidad de carriles en ambos sentidos que serán necesarios para el normal funcionamiento de la vía.

- **Taludes**

“Son planos laterales que delimitan la explanación de la carretera. La inclinación de un talud se mide por la tangente del ángulo que forman tales planos con la vertical, en cada sección de la vía” (Agudelo, 2002). Los taludes se designan en tanto por uno, en relación a la cantidad de altura por unidad de longitud horizontal.

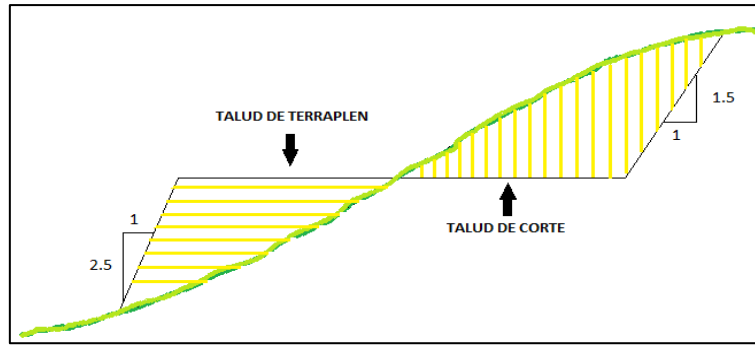


Figura 8: Taludes.
Fuente: Elaborado por los autores (2018).

Es necesario realizar como mínimo ensayos de límites, absorción, triaxial y de corte en el suelo que va a presentar taludes, para definir la inclinación de los mismos de modo que no existan problemas de estabilidad que afecten la seguridad de los usuarios. Los taludes son los planos que delimitan la zona del proyecto y se encargan de abarcar todos los elementos necesarios en el diseño de la sección transversal.

2.2.2. Planteamiento estructural de la Placa-huella

“Se refiere a la determinación de los lineamientos, cotas, secciones y espesores de las capas estructurales de una mezcla de concreto hidráulico reforzado, dispuesto en dos placas separadas por piedra pegada (concreto ciclópeo)” (DNP, 2016). Comprende un estudio realizado por el Instituto Nacional de Vías en el año 2017 para determinar una tipología de esquemas que contemplan secciones transversales, espesores de las capas y dimensiones de los refuerzos, necesarios para soportar las exigencias de carga de hasta 22 toneladas.

2.2.2.1. Caracterización del sistema

El sistema de placa-huella se utiliza en zonas rurales de volúmenes medianos a bajos de tránsito, donde se pueda evidenciar un terreno de pendientes mayores al 10% y la calidad de la subrasante oscile entre pobre a muy buena, con un CBR igual o mayor al 3%. Se caracterizan por el bajo costo de construcción y mantenimiento que ofrecen en el proyecto.

La placa-huella posee un sistema de falla similar a las edificaciones, la cual “Se produce por la aplicación de una carga que produzca esfuerzos que superen la resistencia última de los elementos de concreto reforzado” (DNP, 2016). Por tanto, las dimensiones ya estipuladas por el Instituto en la Guía de Diseño (2017), se realizaron de acuerdo a la metodología de diseño por carga última con un camión C-3 de 22 toneladas en su eje doble como eje de referencia.

- **Factor camión (FC)**

“Todo vehículo que hace uso de un pavimento produce en este y en la subrasante, esfuerzos, deformaciones y deflexiones, infligiendo una cantidad infinitesimal de daño en la estructura” (Sierra, 2009), es así como para el diseño de pavimentos en Colombia se usa un eje sencillo de referencia cuya carga equivale a 8.2 toneladas.

Cabe aclarar que cuando se habla de tránsito no solo refiere a vehículos de ejes sencillos, sino buses y camiones de 2 o más ejes. Por tal motivo la Universidad del Cauca en 1996 con motivo de la Investigación Nacional de Pavimentos, adopto unos factores de referencia (Tabla 5) para todos aquellos vehículos comerciales que transiten por las vías colombianas.

Tabla 4 Factores de equivalencia del Factor camión a nivel nacional.

TIPO DE VEHICULO	FACTOR DE EQUIVALENCIA
C-2 Pequeño	1.14
C-2 Grande	3.44
C-3	3.76
C-2 - S1	3.37
C-4	6.73
C-3 - S1	2.22
C-2 - S2	3.42
C-3 - S2	4.40
C-3 - S3	4.72
Bus P-600	0.40
Bus P-900	1.00

Fuente: Tomado y ajustado de Ingeniería de Pavimentos para Carreteras (Montejo, 1998).

Este factor permite comparar el peso de los vehículos pesados en relación con el eje sencillo de referencia de 8.2 toneladas, es decir que justifica, cuánto daño infinitesimal provocado por un eje simple, genera un vehículo pesado en la superficie del pavimento.

- **Tasa de crecimiento del tránsito**

La estimación del tránsito futuro está sujeta a muchas variables que impiden dar una certeza clara del resultado esperado, y corresponde al parámetro que da lugar a la capacidad y soporte de la estructura del pavimento. El ingeniero Alfonso Montejo (1998), menciona en su libro que existen dos casos para estimar la rata de crecimiento:

1. Cuando es posible obtener series históricas de la zona del proyecto, bajo la cual se proyecte usando modelos de regresión lineal, exponencial, logarítmica y potencial, seleccionando el modelo que más se ajusta a los valores históricos del tránsito.
2. Cuando existe ausencia de series históricas, se sugiere asumir la rata de crecimiento con base en los parámetros macroeconómicos de la región beneficiada por la vía. Para este caso, en la Tabla 6 se muestran los valores de crecimiento del tránsito estimados por el I.N.V., dependiendo del volumen de tránsito promedio diario semanal

Tabla 5: Rata de crecimiento anual de vehículos

TPDS	TASA DE CRECIMIENTO (%)	
	TOTAL VEHÍCULOS	VEHÍCULOS COMERCIALES
<500	6.0-6.5	5.5-6.0
500-1000	5.7-6.3	5.5-6.0
1000-2500	4.5-5.5	4.0-5.0
2500-5000	4.5-5.5	4.0-5.0
5000-10000	4.5-5.5	4.0-5.0
>10000	4.0-6.0	3.0-5.0

Fuente: Tomado del Ingeniería de pavimentos para carreteras (Montejo 1998, pg. 170)

- **Número de ejes equivalentes (N)**

Esta denominación permite “Convertir la cantidad de vehículos comerciales a ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas, mediante el factor camión” (Sánchez, 2009). De tal forma que, tomando el volumen acumulado de vehículos que transitarán en el carril de diseño y durante el periodo de diseño, es posible distinguir el tránsito bajo, medio y alto, de acuerdo al número de ejes equivalentes que presente. Se determina para cada año, por medio de la siguiente ecuación:

$$N_i = TPD_i * \frac{A}{100} * \frac{B}{100} * DD * 365 * FC$$

Donde TPD, es el tránsito promedio diario inicial;

i: Año de estudio

B: Porcentaje de vehículos pesados que emplean el carril de diseño

A: Porcentaje estimado de vehículos pesados (buses y camiones)

FD: Factor direccional del tránsito de vehículos

FC: Factor camión

Tabla 6: Factor direccional con relación al ancho de calzada.

ANCHO CALZADA	TRÁNSITO PARA CARRIL DE DISEÑO	FD
Menos de 5 metros	Total en los dos sentidos	1,00
Entre 5 y 6 metros	3/4 del total en los dos sentidos	0,75
6 o más metros	1/2 del total en los dos sentidos	0,50

Fuente: Tomado de Manual diseño de pavimentos en concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

El volumen del tránsito de vehículos pesados que circulará por los carriles de la calzada va determinado por la cantidad de carriles que tengan en cada dirección, de tal forma que, en la Tabla 7 se muestran los valores generales del porcentaje de vehículos pesados que emplean el carril de diseño, según la AASHTO y el Instituto Nacional de Vías.

Tabla 7: Factor de distribución para el carril de diseño.

NÚMERO DE CARRILES POR DIRECCIÓN	FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL	
	INVIAS	AASHTO
1	1,00	1,00
2	0,90	0,90
3	0,75	0,60
4	-	0,40

Fuente: Tomado del Curso básico de Diseño de Pavimentos (Sánchez, 2009).

Se debe proyectar el incremento del tránsito y el número de ejes equivalentes, haciendo uso de las regresiones lineales o exponenciales, según sea el caso, para el año en el que se desea poner en servicio el pavimento. Una vez determinado ese incremento, es posible proyectar el número acumulado de ejes equivalentes durante el periodo de diseño, por medio de la siguiente ecuación:

$$N_{\text{acumulado}} = N_j * n + \frac{m * n^2}{2}$$

Donde:

N_j , corresponde al valor de ejes equivalentes para el año de apertura de la vía;

n : Periodo de diseño del pavimento

m : Pendiente de la regresión para proyectar el n° de ejes equivalentes por año

Cabe mencionar, que la precisión del cálculo proyectado va a depender del registro de datos a los cuales se tenga acceso, ya que, para el diseño de la estructura del pavimento, es necesario tener en cuenta los factores más imprevisibles para determinar el tránsito real que circulara por la vía.

- **Tipo de vía**

“Se refiere a la clasificación de la vía según su importancia” (INVIAS, 2008). La categorización del corredor (Tabla 9) presenta singular importancia en la elección del sistema

de pavimentación a usar, puesto que el Instituto Nacional de Vías en relación a lo acordado por el Ministerio de Transporte, elaboró manuales de diseño dependiendo netamente del volumen y tipo de vehículos que transitan por la zona y así mismo del número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas de tránsito mixto, que tipifican la vía.

Tabla 8: Categorías del tránsito.

CATEGORIAS	TIPO DE VÍA	TPD	EJES ACUMULADOS DE 8,2 TON
TO	(Vt) - (E)	0 a 200	< 1'000.000
T1	(Vs) - (M ó A) - (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T2	(Vp) - (A) - (AP - MC - CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T3	(Vp) - (A) - (AP - MC - CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T4	(Vp) - (A) - (AP - MC - CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T5	(Vp) - (A) - (AP - MC - CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T6	(Vp) - (A) - (AP - MC - CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000

Fuente: Tomado del Manual de Diseño de Pavimentos en Concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito (2008).

Este parámetro permite obtener unos espesores de las capas de la estructura del pavimento estipulado en el diseño para las vías, de acuerdo a las exigencias y a la importancia de la calzada, que evalúa el soporte que aporta la subrasante a las cargas del tránsito y la superficie, ya sea de concreto, de asfalto o de ciclópeo.

2.2.2.3. Capacidad de soporte

“Es determinante en la rigidez del conjunto subrasante-subbase siendo éste conjunto el apoyo sobre el que se construyen los elementos estructurales que integran el pavimento como son las placas-huella, las riostras, la piedra pegada, las berma-cuentas y los bordillos” (INVIAS, 2017b). Cuenta con la limitación de privilegiar el uso de suelos con un CBR igual o mayor al 3%, ya que según la Tabla 9 los suelos que no cumplen con este parámetro poseen un comportamiento complejo que impide aportar una buena resistencia a la estructura.

La estructura de soporte de las losas de concreto y el ciclópeo, van apoyadas sobre una subbase granular compactada al 95% de la densidad seca máxima del ensayo modificado de compactación de referencia. Según las Especificaciones generales de construcción, esta subbase posee un espesor y granulometría determinada de acuerdo a los ensayos realizados, donde “Se pudo concluir que la cuantía de acero y la longitud, ancho y espesor tanto de la placa-huella como de la riostra no son sensibles a la rigidez de la superficie de apoyo, en éste caso del conjunto subrasante-subbase granular” (INVIAS, 2017a). De tal forma que el espesor está delimitado para dar una zona de trabajo limpia, para lograr la compactación necesaria si los suelos de apoyo presentan baja calidad y para lograr una superficie limpia donde reposen las losas de la placa-huella.

Tabla 9: Clasificación de la subrasante.

CLASE O TIPO	CBR (%)	MÓDULO RESILIENTE (kg/cm ²)
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 - 500
S3	5 - 10	500 - 1.000
S4	10 - 20	1.000 - 2.000
S5	> 20	> 2.000

Fuente: Tomado del Manual de Diseño de Pavimentos en Concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito (2008).

2.3 Marco económico-social

El departamento de Cundinamarca con un área total de 22.623 km² que según el DANE en el informe del año 2015 albergó a 2´680.041 habitantes sin sumar los pertenecientes a la capital de Colombia. Genera el 30 % del producto interno bruto del país (Crespo 2015) y cuenta con una economía variada como se muestra en la Tabla 11, donde en la zona rural predomina la ganadería, la agricultura, la floristería, la piscicultura y la pesca, y en la urbana la prestación

de servicios comerciales restaurantes y hoteles, que en conjunto brindan una economía estable para sus pobladores.

Tabla 10: Aportes al valor agregado del país por el departamento de Cundinamarca.

	% Bogotá-Cundinamarca
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	10,7
Explotación de minas y canteras	1,2
Industrias manufactureras	27,5
Suministro de electricidad, gas y agua	27,2
Construcción	22,5
Comercio, restaurantes y hoteles	36,4
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	32,9
Actividades Financieras, inmobiliarias y empresariales	46,0
Actividades de servicios sociales, comunales y personales	32,5
Subtotal Valor Agregado	29,2
Impuestos	34,3
Producto Interno Bruto	29,6

Fuente: Observatorio de desarrollo económico (2015).

Las exportaciones juegan un papel muy importante en la economía cundinamarqués, su principal transacción es la agricultura, seguido de productos químicos y servicios como alimentos y bebidas.

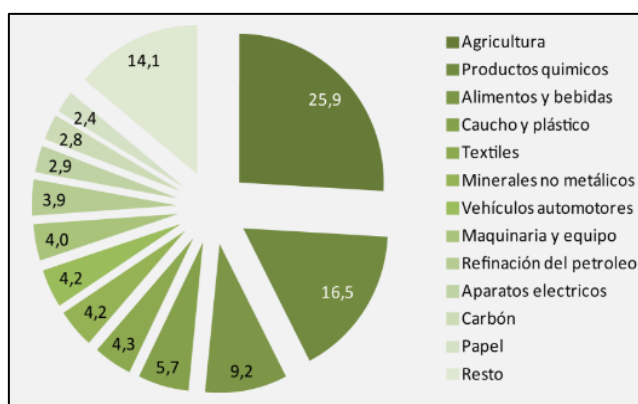


Figura 9: Participación porcentual en actividades económicas en el año 2014.

Fuente: Observatorio de desarrollo económico (2015).

Por su parte, la provincia del Tequendama que alberga en 1.159 km² los municipios de La Mesa, Anapoima, Cachipay, el Colegio, Quipile, Apulo, Viotá y Tena, posee una población rural que representa el 65,4% y una población urbana del 34,6%, con una densidad poblacional de 119.9 personas por km². Según el informe desarrollado por la Oficina Asesora de Planeación Sectorial de Cundinamarca, “la actividad económica se concentra en el desarrollo de labores agropecuarias (18,6%), industriales (14,4%), en menor medida, de servicios

financieros, inmobiliarios y a las empresas (10,8%) y de comercio y servicios de reparación (10,2%)” (Gobernación de Cundinamarca, 2015).

Además, posee el mejor índice de utilización de la Tierra de Cundinamarca teniendo el 30% de áreas cosechadas del total del área rural (33.261 hectáreas cosechadas), donde “predomina la producción de cultivos permanentes como el mango, los cítricos, la caña y el banano y en menor proporción los cultivos transitorios como el maíz, tomate, habichuela, arveja, aromáticas y frijol” (Gobernación de Cundinamarca, 2015).

2.4. Marco legal

Como lo indica la Agencia Nacional de Infraestructura en las especificaciones generales de los contratos de concesión (s.f), es deber “Cumplir con las especificaciones establecidas en el Apéndice Técnico 1 y los manuales y/o normas técnicas que de acuerdo con la Ley Aplicable vigente al momento de la presentación de la oferta sean obligatorias para la ejecución de estas actividades”. Se presentan algunas normativas necesarias para el desarrollo del proyecto.

- **Resolución 000024 de 2011:** Por el cual se adopta el Manual de Drenaje para Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).
- **Resolución 000744 de 2009:** Por el cual se adopta el Manual de Diseño Geométrico para Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), además de los documentos posteriores que las actualicen, modifiquen, desarrollen o sustituyan.
- **Resolución 4577 de 2009:** Por el cual se adopta el Manual de Señalización-Dispositivos para la Regulación del Tránsito en Calles, Carreteras y Cicloruta de Colombia del Ministerio de Transporte.
- **Decreto 2618 de 2013:** Por el cual se modifica la estructura del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y se determinan las funciones de sus dependencias. En el cual el artículo 2º menciona que se debe elaborar conjuntamente los planes, programas y

proyectos tendientes a la construcción, reconstrucción, mejoramiento, rehabilitación, conservación, atención de emergencias, y demás obras que requiera la infraestructura de su competencia con el Ministerio de Transporte.

- **Resolución 1375 de 2014:** Por la cual se actualizan las Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras publicados en la resolución 003290 de 2007 por el Ministerio de Transporte.
- **Resolución 1376 de 2014:** Por la cual se actualizan las Especificaciones Generales de Construcción para Carreteras publicado en la resolución 003288 de 2007 por el Ministerio de Transporte.
- **Proyectos Tipo (2016):** Presentado por parte del DNP - Departamento Nacional de Planeación donde se realiza una guía para el Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa-huella.
- **Decreto 4401 de 2017:** Por el cual se adopta la guía de diseño de pavimentos con placa-huella realizado por el Instituto Nacional de Vías.

3. METODOLOGÍA

En el trabajo se identificaron cuáles son los aspectos que mantienen a los habitantes de la zona insatisfechos con respecto al tema de movilidad, comercio y turismo, para esto fue necesario un diagnóstico del estado actual que presenta el corredor rural, por medio del registro fotográfico y la funcionalidad que presta para el tránsito. Una vez determinada los parámetros iniciales, se continuo con los estudios y ensayos para caracterizar el terreno baldío donde se va a realizar el proyecto. Finalmente se diseñó la propuesta apropiada con respecto a las variables presentes en la zona y a la problemática existente para los habitantes y los turistas.

El proyecto se realizó de acuerdo al siguiente diagrama de flujo:

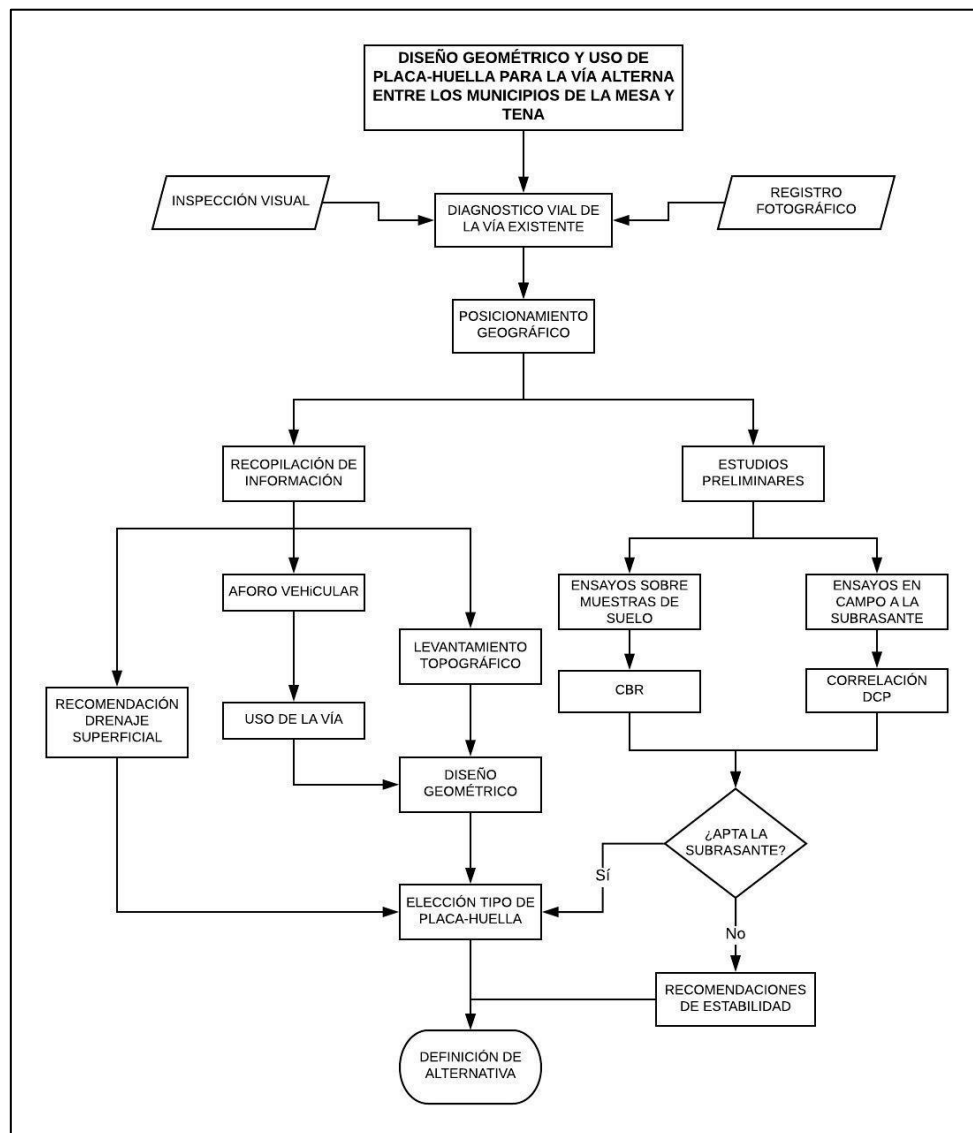


Figura 10: Metodología del proyecto.
Fuente: Elaborado por los autores (2019).

Para la recopilación de la información se hicieron trabajos de campo en la vía existente, en las cuales se realizó la observación de patologías en la estructura del pavimento con respaldo fotográfico y un aforo vehicular detallado para determinar el tipo y volumen de tránsito. Además, se obtuvo información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para una caracterización hidrológica de la zona.

Luego se realizó el desarrollo de ensayos y estudios geotécnicos y topográficos en la zona del proyecto, que luego del análisis de la información obtenida se dio lugar a la caracterización del terreno baldío.

Finalmente, se diseñó la alternativa del diseño geométrico de la vía y la selección de la estructura de pavimentación por medio del sistema de placa-huella, donde se utilizaron los parámetros determinados en la recopilación de información y en la caracterización del terreno de trabajo.

En la siguiente tabla se muestran las actividades que se llevaron a cabo para el completo cumplimiento de los objetivos del trabajo y las herramientas determinadas para el desarrollo.

Tabla 11: Actividades para el cumplimiento de los objetivos.

OBJETIVO	ACTIVIDAD	MÉTODO O HERRAMIENTA	DURACIÓN (DÍAS)
1. Realizar un diagnóstico de la situación actual en la vía existente, que permita determinar el estado y las exigencias de servicio de la calzada en la zona del proyecto.	1.1. Inspección visual del estado actual de la vía	• Fotografías	1
	1.2. Determinación del tránsito	• Aforo vehicular	5
		• Descripción del tránsito	1

2. Caracterizar el terreno de trabajo por medio de desarrollo del posicionamiento espacial, levantamiento topográfico y los estudios de suelos en la zona del proyecto alternativo, con el fin de determinar los parámetros de diseño.	2.1. Posicionamiento espacial	• GPS de doble frecuencia	10
	2.2. Levantamiento topográfico	• Estación total para ubicar geográficamente puntos específicos	90
		• Nivel de precisión para determinar altimetría del terreno	20
	2.3. Estudios geotécnicos	• Moldes de CBR en laboratorio para muestras inalteradas. • Cono Dinámico de Penetración para CBR en campo.	20 12
3. Definir la propuesta final para el trazado geométrico y el planteamiento estructural de la placa-huella, por medio del análisis de los datos recopilados, que respondan eficientemente a las necesidades de los usuarios.	3.1. Diseño geométrico de la vía	• Manual de Diseño Geométrico de Vías – INVIAS • Diseño Geométrico de Vías – James Cárdenas • Civil CAD 3D • Planos horizontales y verticales del trazado geométrico de la vía	70
	3.2. Selección del tipo de placa-huella	• Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella – INVIAS • Proyecto Tipo para Mejoramiento de Vías terciarias mediante el uso de Placa-huella – DNP • Planos de secciones transversales	20
	3.3. Señalización e iluminación de la vía	• Planos de ubicación de los elementos del tránsito e iluminación.	10

Fuente: Realizada por los autores (2018).

4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La observación preliminar realizada sobre la carretera existente que presenta fallas sobre la carpeta asfáltica, permite determinar una importancia en el desarrollo de una alternativa al problema, donde se establecen parámetros y datos iniciales que funcionan de guías para el diseño de la propuesta final.

Para dar lugar al desarrollo de la primera fase se realizó en primera instancia una visita técnica a la carretera para caracterizar por medio de una inspección visual las patologías que presenta la estructura del pavimento con la debida evidencia fotográfica y una breve descripción del tamaño y su ubicación, que demuestran las fallas que impiden un tránsito normalizado sobre la misma vía. Luego de finalizada la revisión de la estructura en la vía existente, se plantearon rutas alternas que puedan permitir la comunicación entre las Inspecciones, en caso de un ocasional cierre total de la vía.

Finalmente se clasifica funcionalmente la vía, obteniendo los parámetros de factor camión y número de ejes acumulados de 8.2 toneladas; mediante un estudio de movilidad durante un periodo de cinco (5) días calendario.

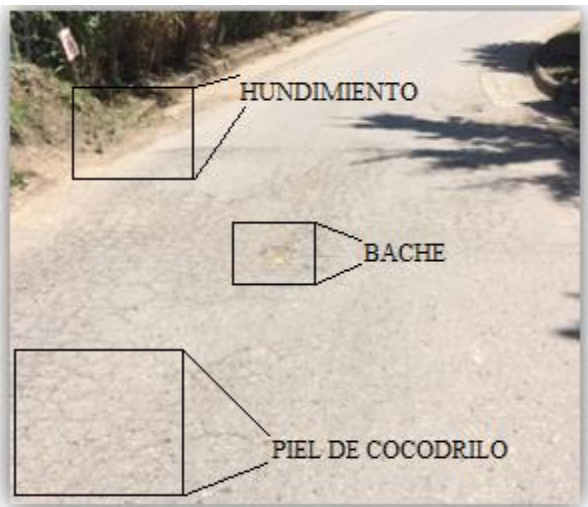
Esta fase metodológica en la que se determinaron las principales exigencias de la vía a intervenir, se llevó a cabo durante el segundo semestre del año 2017.

4.1. Observación preliminar

Con el fin de conocer la situación existente en la carretera se realizaron varias inspecciones técnicas, para lograr presenciar las diferentes situaciones que afectaban el pavimento flexible y la movilidad en la zona. Las observaciones se realizaron de acuerdo al Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles de la Universidad Nacional en el año 2006.

A continuación, se presenta el registro fotográfico con sus respectivas observaciones:

Tabla 12: Observación preliminar.

REGISTRO FOTOGRÁFICO	OBSERVACIONES
	Corresponde a la abscisa K0+000m de la vía La Gran Vía-La Esperanza, donde los baches, piel de cocodrilo y la pérdida de agregado en la superficie del pavimento, evidencian sectores de la carretera en afirmado.
	En la abscisa K0+080m y a lo largo de 200 metros se localizan piel de cocodrilo, fisuras longitudinales en la superficie del pavimento y baches de un radio y profundidad de hasta 31 cm y 8 cm, respectivamente. Ver anexo de auscultamiento para más detalles.
	En la abscisa K0+578m se logra observar una fatiga en el material que muestra piel de cocodrilo en lo ancho de la calzada. Además de pequeños baches producto del desprendimiento de la carpeta asfáltica, y algunos hundimientos en el carril que conduce desde La Esperanza hasta La Gran Vía.



Llegando a la abscisa K0+780m se evidencian parches en la carpeta asfáltica, seguido de grietas de borde, hundimientos y ondulaciones de más de 15 cm de desplazamiento, con afectaciones a las cunetas, debido al desplazamiento en masa de terraplén.



Iniciando el punto más crítico de la calzada en la abscisa K0+800m se localizan las primeras señalizaciones y avisos de restricción vehicular por el mal estado que presenta la vía.



A lo largo de 130 metros se puede observar hundimiento, deslizamiento rotacional y presencia de capa vegetal en el carril izquierdo de la vía. Esto se da por inestabilidad del talud de terraplén al soportar las cargas del tránsito. Para causas exactas se hace necesario llevar un análisis más a fondo de las propiedades del suelo y los procesos naturales.

Fuente: Realizado por los autores (2018).

La observación preliminar soportada por el registro fotográfico y anexo de auscultamiento, finaliza en la abscisa K2+000m donde se encuentra el desvío que da lugar a la vía alterna. En el kilómetro restante luego del punto más crítico en la superficie del pavimento se observa un buen estado de la calzada, con presencia de patologías y afecciones mínimas a la movilidad de los usuarios. Cabe resaltar que el deslizamiento rotacional encontrado en la vía, se encuentra aislado de las fincas y el comercio, factor que respalda el diseño de la vía alterna sobre un terreno adyacente al estudiado.

4.2. Rutas alternas

La solución inmediata que presentó el municipio luego de que la vía sufriera los primeros accidentes, fue la implementación de señalizaciones y desvíos que dieran lugar a rutas alternas y permitieran la comunicación entre las veredas afectadas sin interrumpir las actividades económicas de la zona, mientras se busca una solución que beneficie tanto a los habitantes y comerciantes de las Inspecciones como a los turistas que visitan la Provincia. Estas rutas alternas pese a que implican un incremento en los costos y tiempos de viaje de la operación ganadera, agrícola y comercial, evidenciados en el consumo de combustible, desgaste de los vehículos y en la disminución de los tiempos de comercialización, cumplen la función de comunicar las Inspecciones y por ende son presentados a continuación.

Con la finalidad de soportar la información obtenida durante el estudio de tiempos de los recorridos, se registran los tiempos alcanzados el día 22 de septiembre de 2017 por los autores al realizar los recorridos y el tiempo que el servidor Google Maps mostró antes de iniciar la marcha. Inicialmente, se realizó el recorrido desde La Gran Vía hacia La Esperanza durante 9.4 km, con el paso intermitente y el estado existente del pavimento, para comparar con las alternativas.

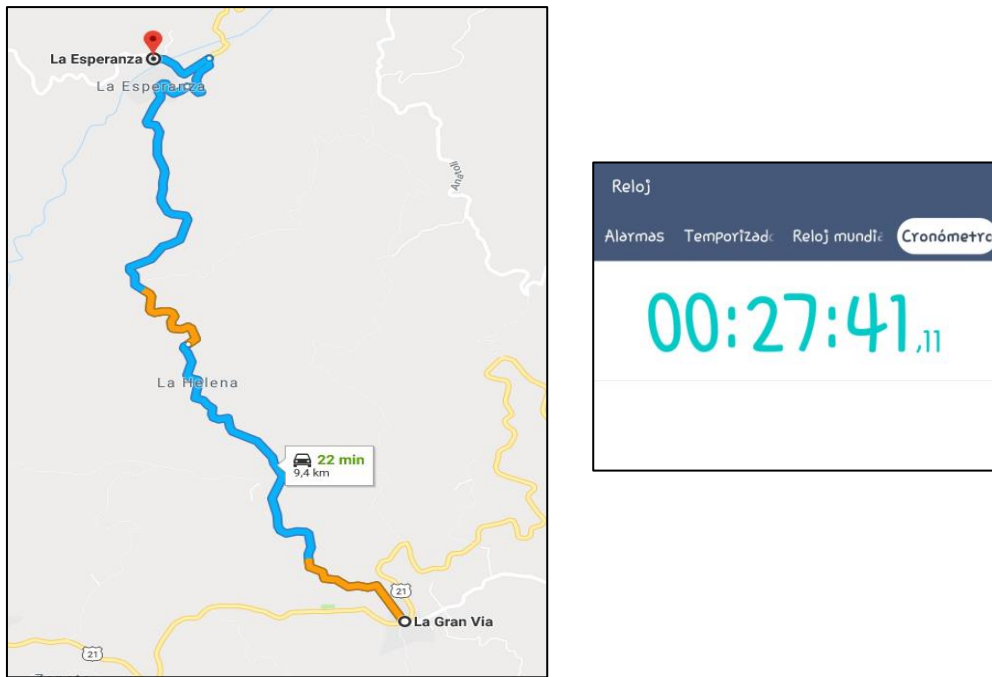


Figura 11: Ruta La Gran Vía - La Esperanza.
Fuente: Tomado de Google Maps y elaborado por los autores (2017).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, existen dos opciones viales en los municipios que permiten suplir el problema de movilidad, donde la característica principal es que tenga origen en la Inspección de La Gran Vía y conecte con El Ocaso en la Inspección de La Esperanza, puesto que es en esta zona donde se ingresa al casco urbano y donde se hace conexión para los demás corredores viales que van hacia Cachipay, San Javier, San Joaquín, Anolaima y las veredas siguientes. Cabe destacar que los tiempos se tomaron conforme a la velocidad que el tráfico y el estado del pavimento permitían, y que ambas opciones solo representan una solución provisional y sugerida.

4.2.1. Ruta La Gran Vía – La Mesa – El Ocaso

Esta ruta alterna representa un trayecto de 27.4 km que atraviesa el centro del Municipio de la Mesa hasta la Inspección de San Javier y luego tomando el desvío hacia El Ocaso. Un recorrido que es tres veces mayor al inicial, pero pasa por el casco urbano de la capital de la Provincia y puede ser optimizado para el recorrido de los vehículos de carga que cubran esa ruta.

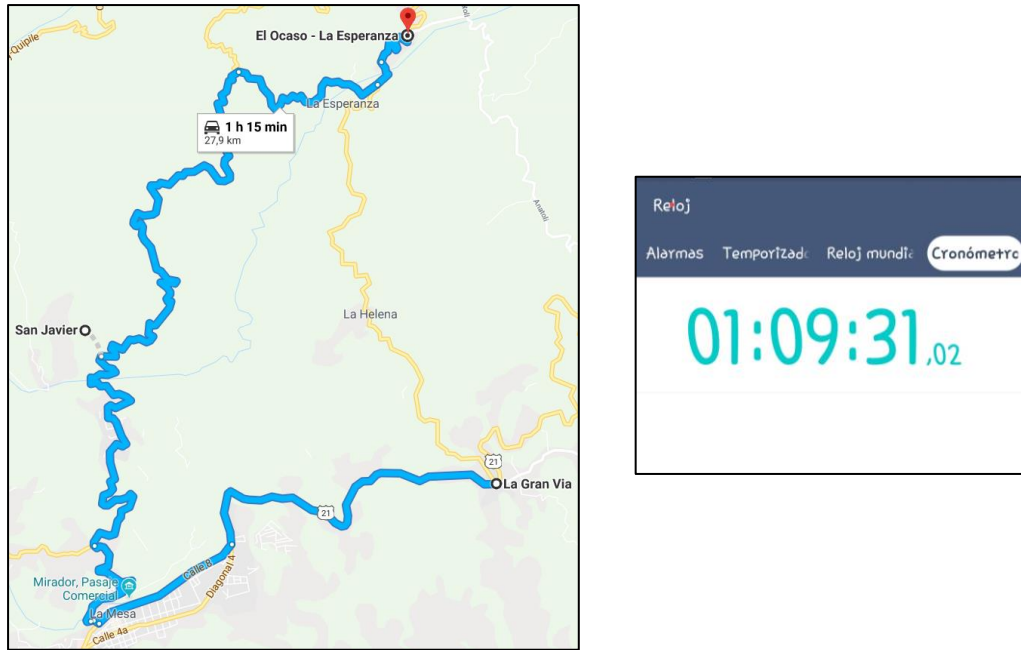


Figura 12: Ruta La Gran Vía - San Javier - El Ocaso.
Fuente: Tomado de Google Maps y elaborado por los autores (2017).

4.2.2. Ruta La Gran Vía – Anatoli – El Ocaso

Corresponde a un tramo de 24.2 km de longitud de placa-huella, con alta sinuosidad y pendientes altas, que presenta una particularidad y es que durante este recorrido es posible que los automóviles pequeños y motos recorten camino en el desvío que se encuentra en el kilómetro 5.2, donde una calzada de aproximadamente cinco metros de ancho, una pendiente cercana al 9 % y con una superficie de pavimento rígido, llevan a lo largo de 1.3 km a conectar con la ruta Anatoli – La Mesa y permitir llegar a El Ocaso en tan solo 40 minutos.

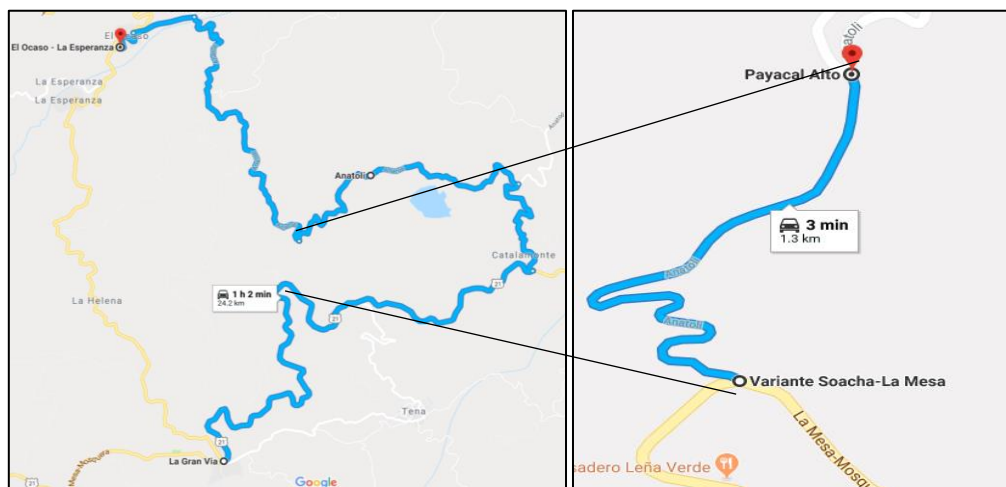


Figura 13: Ruta La Gran Vía - Anatoli - El Ocaso.
Fuente: Tomado de Google Maps (2017).

4.3. Estudio de movilidad

Para determinar las exigencias y el soporte de la superficie que es necesario en cuanto al diseño de la vía alterno, que permita mejorar la movilidad de la zona, disminuir tiempo y costos a las actividades de comercio y producción de la zona, es necesario realizar un estudio detallado de la movilidad. Este estudio se realizó en dos fases que permitieron caracterizar el tráfico y así determinar algunos parámetros para el posterior diseño de los espesores de las capas del sistema de placa-huella.

Inicialmente se basó en la recopilación de la información del volumen del tránsito dada por el aforo vehicular en el periodo estipulado de cinco (5) días, donde fue necesario un ajuste de los valores, teniendo en cuenta que existe una cierta cantidad de usuarios que han dejado de usar la vía o poseen restricción a su paso. Para finalmente determinar el tipo de tráfico que concurre por la zona, donde las dimensiones y el peso de los vehículos son el principal resultado para comprender las principales exigencias que tiene que soportar la vía alterno.

4.3.1. Aforo vehicular

El trabajo de conteo del volumen del tránsito al que se vio sometido el proyecto, se determinó como la misma capacidad de servicio que presenta la vía de La Gran Vía hacia La Esperanza, puesto que el proyecto se basa en la solución del problema vial de la zona y se encuentra conectada de alguna u otra forma con la vía afectada.

Para efectos del aforo vehicular se realizó un trabajo de campo conjuntamente con los asistentes de tránsito de la Concesionaria del Desarrollo Vial de la Sabana (DEVISAB), que se encuentran trabajando en la zona afectada de la vía, donde elaboran los documentos de exoneración de responsabilidades por parte de la empresa al paso por el punto más crítico de la calzada, en el cual se encuentra vigente una restricción vehicular para tránsito superior a 3,5

toneladas. De igual forma supervisan el tránsito oportuno de la calzada para evitar congestiones y accidentes en la carretera.

El conteo vehicular se realizó durante la semana de receso autorizada por el Gobierno en el decreto 1373 de 2007, en un periodo de cinco (5) días que, por cuestiones laborales de los auxiliares del tránsito, inicio el martes 10 de octubre y finalizo el sábado 14 de octubre del año 2017. El aforo vehicular ejecutado se presenta a continuación: (Ver en detalle en los anexos 1, 2, 3, 4 y 5)

Tabla 13: Resumen conteo vehicular.

VEHICULO	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	TOTAL	
MOTOCICLETA	374	397	430	403	793	2397	49,58%
VEHICULO LIVIANO	283	276	320	332	472	1683	34,81%
BUS PEQUEÑO	60	60	60	60	60	300	6,20%
BUS MEDIANO	44	50	53	66	77	290	6,00%
CAMIÓN CATEGORÍA 2	7	12	35	45	40	139	2,87%
CAMIÓN CATEGORÍA 3	2	7	8	7	2	26	0,54%
TOTAL	770	802	906	913	1444	4835	100%

Fuente: Elaborado por DEVISAB y los autores (2018).

De acuerdo con la tabla anterior, es posible determinar que los daños existentes sobre la carpeta asfáltica de la vía no son ocasionados por errores de cálculos en cuanto a la capacidad y los esfuerzos sobre la subrasante, sino por el contrario son originados por procesos naturales y movimientos de tierras que afectaron directamente la estructura del terraplén.

4.3.2. Tránsito atraído por el proyecto

Teniendo en cuenta que no existe una vía de acceso cercana y que durante la recopilación de testimonios el 94% de los usuarios que transitan por la zona afirman usar constantemente la ruta, se calcula que el 100% del tránsito será atraído por el proyecto alterno. No obstante, existen un par de características de la estructura de la placa-huella y de la misma topografía del terreno del proyecto, que castigan de cierto modo este porcentaje de vehículos atraídos:

1. El 0,44% correspondiente a los camiones doble troque en el aforo vehicular, tendrían una restricción al paso por la zona del proyecto, esto debido a que las

pendientes pronunciadas que avala el sistema de placa-huella y el mecanismo de falla de la estructura por carga última, impiden el paso de camiones de carga superior a 22 toneladas por eje. Cabe resaltar que estos son vehículos que provienen de Bogotá o de los centros urbanos de La Mesa y Facatativá, lo cuales podrían hacer uso de rutas aledañas sin modificar en gran medida su recorrido total.

2. Cerca del 90% de los camiones de tipo C-2 aforados en el periodo determinado, se vieron forzados a cambiar su ruta normal de tránsito debido al plan éxodo de la semana de receso en octubre y a los trabajos de ampliación de la calzada en la vía que conduce desde La Mesa hacia Mosquera. Esto quiere decir que, 65 camiones de carga C-2 del resumen del conteo, normalmente no circulan por la zona de influencia del proyecto.

Finalmente, con relación a lo establecido anteriormente se determinó que el tránsito atraído por el proyecto, se muestra en la Tabla 15:

Tabla 14: Tránsito atraído por el proyecto.

Vehículo	Tránsito aforado	Tránsito atraído	Porcentaje categoría
Motocicleta	2397	2397	-
Vehículo liviano	1683	1683	69,03%
Bus pequeño	300	300	12,44%
Bus mediano	290	290	12,02%
Camión categoría 2	139	14	5,76%
Camión categoría 3	26	0	0%
Total	4835	4684	100%

Fuente: Elaborada por los autores (2018).

Cabe destacar que el porcentaje por categoría, no contempla el volumen de motocicletas que transitan por la zona, esto debido a que el impacto de las motocicletas hacia el pavimento es casi nulo con respecto al de un vehículo, más sin embargo, al ser el porcentaje más alto del tránsito concluye que el problema de deslizamientos no se debe a las cargas sobre el terraplén.

4.3.3. Incremento del tránsito

Corresponde al crecimiento del tránsito actual con respecto al tiempo, debido al aumento normal del uso del vehículo, la mejora en las condiciones de la superficie de un terreno y por la creación de nuevas rutas de circulación en la zona del proyecto. Este valor se determina estadísticamente relacionando los beneficios que puede presentar la infraestructura y el crecimiento poblacional del municipio, siempre y cuando sea posible obtener las series históricas de datos para poder proyectarlas hacia un periodo futuro de diseño.

Considerando que los registros históricos del Instituto Nacional de Vías no cuentan con un proyección del tránsito que cubra el recorrido desde Tena hasta Anolaima y además su última proyección sea hasta del año 2016, se asume un porcentaje de crecimiento e incremento normal del tránsito del 4,5% según lo establecido por el Instituto, dado como sugerencia para las vías regionales en el libro de Ingeniería de Pavimentos para Carreteras por el ingeniero Alfonso Montejo (1998). Así mismo, se acoge un valor de tránsito generado igual al 10% y un tránsito desarrollado del 5%.

4.3.4. Determinación del tránsito promedio diario

De forma aritmética se determina el promedio de vehículos que concurren por la vía durante el periodo de estudio, sin tener en cuenta el volumen de tránsito de motocicletas, producto de su despreciable impacto en el diseño de la estructura del pavimento:

$$TPDs = \frac{4835 - 2397}{5} = 487,6 \frac{\text{Vehiculos mixtos}}{\text{día}}$$

Sin embargo, este tránsito promedio diario semanal actual es obsoleto para el diseño de la estructura del pavimento, si no se tiene en cuenta el incremento normal del tránsito y si no es proyectado para el periodo de diseño del pavimento. Ya que según el Instituto de Infraestructura y Concesiones de Cundinamarca el proyecto del tercer carril de la vía Mosquera-Anapoima finalizará labores a principios del año 2020 y la inversión es la más alta

en los últimos años, se proyecta el tránsito para el año de servicio de la vía en el 2021, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 15: Tránsito promedio diario futuro.

VÍA NUEVA								
AÑO	X	TPDS (Estimado vía antigua)	TRÁNSITO ATRAIDO	TRÁNSITO EXISTENTE	I.N.T 4,5%	TRÁNSITO GENERADO 10%	TRÁNSITO DESARROLLADO 10%	TRÁNSITO FUTURO
2017	0	487,6	487,6	0,00	0			488
2018	1		487,6	0,00	22			510
2019	2		487,6	0,00	44			531
2020	3		487,6	0,00	66			553
2021	4		487,6	0,00	88	49	24	649
2022	5		487,6	0,00	110	49	24	670
2023	6		487,6	0,00	132	49	24	692
2024	7		487,6	0,00	154	49	24	714
2025	8		487,6	0,00	176	49	24	736
2026	9		487,6	0,00	197	49	24	758
2027	10		487,6	0,00	219	49	24	780
2028	11		487,6	0,00	241	49	24	802
2029	12		487,6	0,00	263	49	24	824
2030	13		487,6	0,00	285	49	24	846
2031	14		487,6	0,00	307	49	24	868
2032	15		487,6	0,00	329	49	24	890
2033	16		487,6	0,00	351	49	24	912
2034	17		487,6	0,00	373	49	24	934
2035	18		487,6	0,00	395	49	24	956
2036	19		487,6	0,00	417	49	24	978
2037	20		487,6	0,00	439	49	24	1000
2038	21		487,6	0,00	461	49	24	1022
2039	22		487,6	0,00	483	49	24	1043
2040	23		487,6	0,00	505	49	24	1065

Fuente: Elaborada por los autores (2018).

4.3.5. Cálculo del factor camión ponderado

Para la determinación del parámetro se tiene en cuenta el porcentaje de vehículos catalogados como pesados (buses mediando y camiones) y los factores de equivalencia determinados por la Universidad del Cauca. Cabe resaltar que los porcentajes de cada categoría no varían con respecto al tiempo, por ende, se usan los valores del conteo realizado para el año 2017.

Tabla 16: Factor camión ponderado.

	Buses medianos	Camiones C-2	Camiones C-3
Totales	290	14	0
%	12,02 %	5,76 %	0%
Factor de equivalencia	0,7	3,44	3,76

Fuente: Elaborado por los autores (2018).

Para la categoría de vehículos pesados, tan solo se tomó los buses medianos, ya que los buses pequeños o microbuses pertenecen a la categoría A de vehículos livianos. Mientras para el factor de equivalencia se obtuvo un valor promedio de buses P-600 y P-900, por ausencia de información complementaria.

$$FC = \frac{(12,02\% * 0,7) + (5,76\% * 3,44) + (0\% * 3,76)}{(12,02\% + 3,44\% + 0\%)} = 1,83$$

4.3.6. Número de ejes equivalentes acumulados

La clasificación del tránsito en una sola variable por medio del número de ejes equivalente acumulados de 8,2 toneladas que concurren por la vía, puede variar de acuerdo al incremento en el volumen del tránsito de vehículos comerciales a lo largo del periodo de diseño, por lo cual es necesario tener mucho cuidado para determinar el volumen de tránsito final que se va a manejar durante el periodo de diseño de la vía. Por tal motivo, se calcula el número de ejes equivalente año a año, a partir del año 2021 donde se pretende que la vía se ponga en servicio del municipio.

Tabla 17: Parámetros para el cálculo de ejes equivalentes.

PARAMETRO	VALOR
% Buses	12,02 %
% Camiones	5,76 %
A	9,41
B	100
FD	1,00
F.C	1,83

Fuente: Elaborado por los autores (2018).

De forma que se obtiene el número de ejes equivalente de 8,2 toneladas para la vía de La Gran Vía – La Esperanza, por medio del volumen de transito mixto por cada año, teniendo en cuenta, que para la ecuación se trunca en cifras enteras:

$$N(2021) = 649 * \frac{9,41}{100} * \frac{100}{100} * 1,00 * 365 * 1,83$$

$$N = 107.591,864 \text{ Ejes equivalentes de 8,2 toneladas}$$

Se obtienen entonces, los valores de ejes equivalentes por cada año de estudio:

Tabla 18: Cálculo de ejes equivalente por cada año de estudio.

VÍA NUEVA			
AÑO	X	TRÁNSITO FUTURO	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES
2017	0	487,6	-
2018	1	509,542	-
2019	2	531,484	-
2020	3	553,426	-
2021	4	648,508	40763,75759
2022	5	670,45	42142,98247
2023	6	692,392	43522,20736
2024	7	714,334	44901,43224
2025	8	736,276	46280,65712
2026	9	758,218	47659,882
2027	10	780,16	49039,10688
2028	11	802,102	50418,33176
2029	12	824,044	51797,55664
2030	13	845,986	53176,78152
2031	14	867,928	54556,0064
2032	15	889,87	55935,23128
2033	16	911,812	57314,45616
2034	17	933,754	58693,68105
2035	18	955,696	60072,90593
2036	19	977,638	61452,13081
2037	20	999,58	62831,35569
2038	21	1021,522	64210,58057
2039	22	1043,464	65589,80545
2040	23	1065,406	66969,03033

Fuente: Elaborado por los autores (2018).

Finalmente, se determina el valor estimado del número de ejes equivalentes acumulados y se compara con el valor empírico dado por la ecuación de proyección.

$$N^{\circ} \text{ de ejes equivalentes acumulados } (N) = \Sigma N^{\circ} \text{ de ejes por cada año de estudio}$$

$$N = 1'077.327,879 \text{ ejes equivalentes acumulados}$$

Determinando para la vía La Gran Vía – La Esperanza, una carretera secundaria de tipo T1, con una calzada mediana, bidireccional y un tránsito medianamente bajo, según el Instituto Nacional de Vías en sus categorías del tránsito.

4.3.7. Dimensiones iniciales

Para iniciar es necesario comprender que el sistema de placa-huella es un diseño basado en la carga última de resistencia, de tal forma que la estructura alcanza a soportar infinidad de cargas hasta que alcanza la carga de falla, la cual es aquella carga vehicular que sobrepasa los estándares del diseño realizado. Para este caso la carga de diseño asumida por el Instituto

Nacional de Vías en el sistema de placa-huella, es un camión rígido de 3 ejes con un peso estándar de 22 toneladas, distribuidas en dos ejes simples de 11 toneladas cada una y distantes a 1,20 metros de centro a centro.

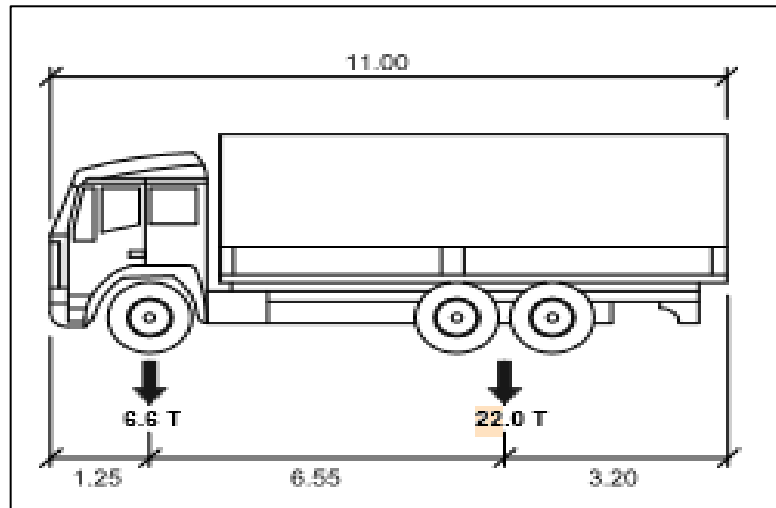


Figura 14: Camión C-3.

Fuente: Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa-huella (INVIAS, 2017b).

De tal forma que pese a que el volumen de tránsito que maneja la vía alterna está exento del paso de vehículos de pesaje igual o mayor a 22 toneladas en uno de sus ejes, para el proyecto de la vía alterna se diseñan los espesores estructurales de las capas y los radios de curvatura de la geometría de la vía para un vehículo de 2,50 metros de ancho, longitud total de 11 metros y un peso máximo de 22 toneladas en uno de sus ejes, todo esto en función de equiparar todas las exigencias que se puedan presentar en la calzada para aquellos automóviles de menores dimensiones.

Si se tiene en cuenta que las dimensiones estándar de la calzada para un pavimento de placa huella es de mínimo 5 metros de ancho y que las estructuras de las cunetas presentan un refuerzo igual al de las losas de concreto de la superficie de rodadura, es posible permitir el flujo vehicular en ambas direcciones en el caso más extremo cuando se encuentren dos camiones en direcciones opuestas. La sección transversal de la vía no es constante durante todo el recorrido producto de las propiedades privadas que han estrechado el terreno del proyecto,

para lo cual se necesita el uso de una zona de cruce durante las tangentes previas a las curvas y a ciertos puntos críticos donde la calzada debe ensancharse hasta los 7,25 metros, para favorecer la movilidad de los vehículos de mayores dimensiones.

La Guía de diseño de pavimentos con placa-huella del INVIAS propone dos alternativas de diseño de la zona de cruce:

- Alternativa 1, cuando el tramo elegido presenta restricciones en el ancho de la banca, pero no en la longitud.

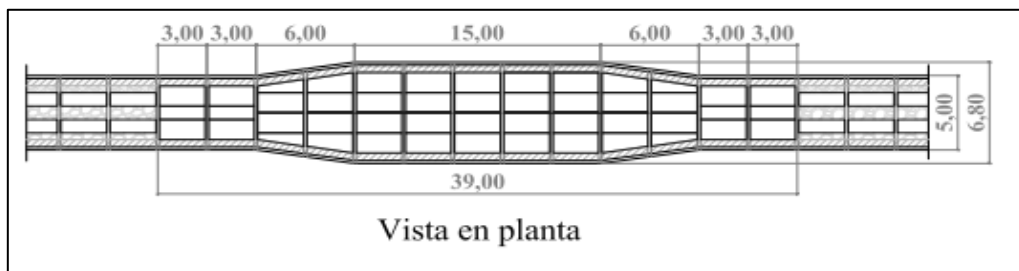


Figura 15: Zona de cruce tipo 1.

Fuente: Tomado de Guía de diseño de pavimentos con placa-huella (INVIAS, 2017b).

- Alternativa 2, cuando el tramo elegido no presenta restricciones en el ancho de la banca, pero si en la longitud.

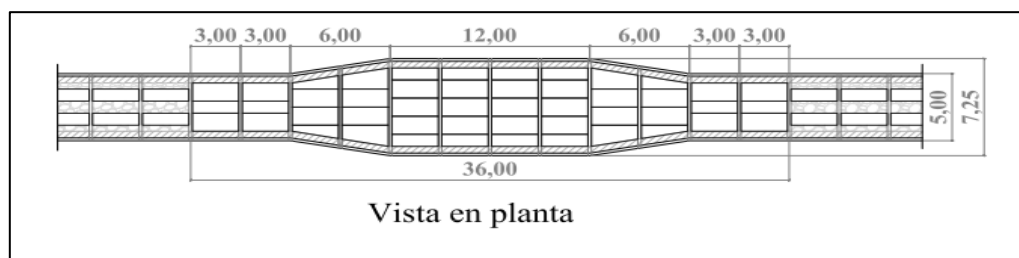


Figura 16: Zona de cruce tipo 2.

Fuente: Tomado de Guía de diseño de pavimentos con placa-huella (INVIAS, 2017 b).

5. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO

Para el diseño de una infraestructura vial se hace estrictamente necesario conocer las características topográficas, hidrológicas y geotécnicas del lugar, que permiten determinar las afectaciones que pueden generarse sobre la estructura de la vía. Comprender las condiciones en las que se presenta la zona de trabajo, evitaría los baches, hundimientos, deterioro de la superficie de rodadura y a su vez la probabilidad de accidentes, creando un nivel de servicio satisfactorio tanto en peatones como conductores.

5.1. Posicionamiento con GPS

Para la realización del levantamiento topográfico se requiere obtener las coordenadas exactas de algunos puntos del terreno para poder superponer el diseño geométrico de la vía en un plano. Para tal efecto, se solicitó los servicios de una empresa privada que realizó el trabajo de posicionamiento geográfico por medio de GPS de doble frecuencia, tal como se muestra en la tabla 20, el equipo de trabajo necesario para ejecutar este procedimiento.

Tabla 19: Equipos usados para el posicionamiento GPS.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
GPS Trimble 4700	1
GPS Trimble 5800	2
Topógrafo	1
Cadenero primero	1
Vehículo	1

Fuente: Informe de georreferenciación (Anexo 6, 2017).

Para este proyecto se solicitó el posicionamiento de cuatro puntos que se localizaron por pares al inicio de la vía en estudio con los nombres GPS 1 y GPS 2 y al final de la misma con GPS 3 y GPS 4 como se muestra en la figura 18. Para cada posicionamiento se realizó la instalación de una placa numerada sobre un mojón, para situar un punto fijo del terreno sobre los cuales se puedan soportar la topografía de la zona, como se observa en la tabla 23.

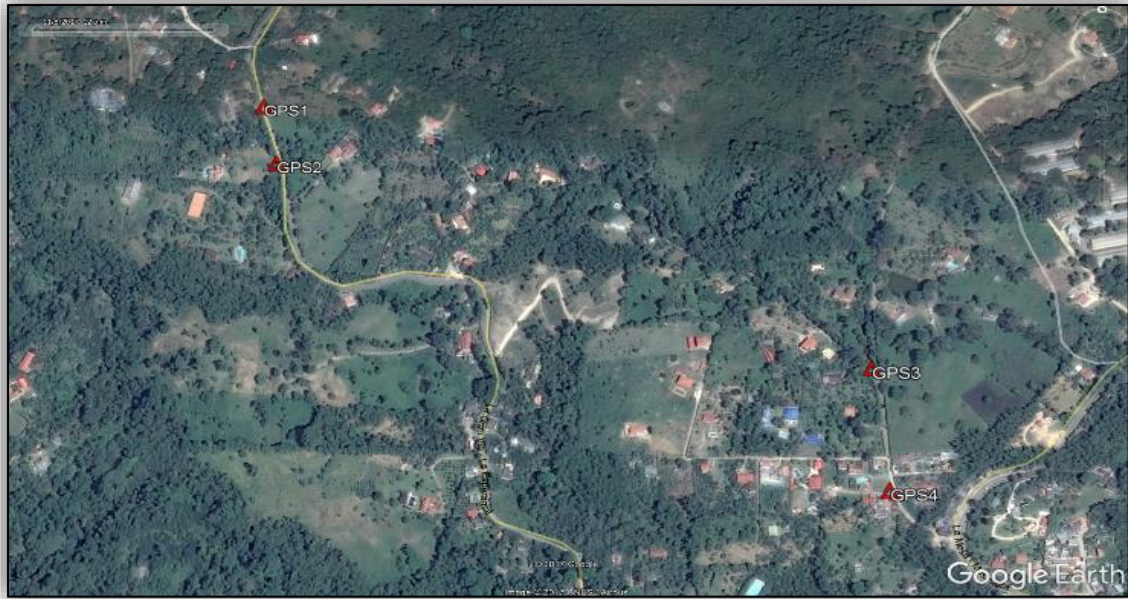


Figura 17: Ubicación de las placas a georreferenciar con el posicionamiento.
Fuente: Informe de georreferenciación (Anexo 6, 2017).

El procedimiento realizado por la empresa para el posicionamiento geográfico de las cuatro placas, consistió en el armado de la estación de GPS de doble frecuencia sobre cada una de las placas, un determinado tiempo necesario para que el rastreo de los vectores entre el equipo y las Estaciones de Registro Continuo (CORS) del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (BOGA) y el Centro Comercial Hayuelos (ABCC), permitieran amarrar las coordenadas al Sistema de referencia MAGNA-SIRGAS. Los tiempos de rastreo para cada placa se pueden observar en la tabla 21, y varían de acuerdo a las condiciones climáticas y a la velocidad con la que el GPS logra emitir y recibir las señales a los satélites.

Tabla 20: Tiempos de rastreo.

VERTICE	HORA ENCENDIDO	HORA APAGADO
GPS 1	10:14 a. m.	02:53 p. m.
GPS 2	11:08 a. m.	01:23 p. m.
GPS 3	12:45 p. m.	02:42 p. m.
GPS 4	01:38 p. m.	02:45 p. m.

Fuente: Informe de georreferenciación (Anexo 6).

Una vez los GPS lograron ubicar con coordenadas geográficas en latitud y longitud cada una de las placas, por medio del uso de herramientas computacionales como ASTECH, Magna Sirgas Pro y Concord, se procedió a un tratamiento de datos que conlleva el cálculo de velocidades de desplazamiento y errores troposféricos, que permitieron establecer fielmente las coordenadas planas cartesianas de cada punto en la tabla 22, así como su respectiva elevación Geocol o cota de altura.

Tabla 21: Resumen de coordenadas obtenidas.

VERTICE	COORDENADAS GEOGRAFICAS EPOCA 1995.4		COORDENADAS PLANAS CARTESIANAS EPOCA 1995.4 ORIGEN BOGOTA		ELEVACION GEOCOL
	Latitud	Longitud	Norte	Este	
GPS1	4° 39' 33.54296"	74° 25' 26.10191"	1006989,019	961564,249	1137.334
GPS2	4° 39' 30.66300"	74° 25' 25.47356"	1006900,544	961583,572	1143.935
GPS3	4° 39' 20.69335"	74° 25' 00.64421"	1006593,928	962348,694	1249.035
GPS4	4° 39' 14.98236"	74° 24' 59.72291"	1006418,486	962377,006	1233.807

Fuente Informe de georreferenciación (Anexo 6).

Cabe resaltar que los primeros datos obtenidos por parte del posicionamiento por GPS de doble frecuencia son las coordenadas geográficas de los puntos en la época 2017, sin embargo, se hizo el traslado de la información a la época 1995.4 puesto que el Instituto Geográfico Agustín Codazzi posee mayor información cartográfica durante ese periodo. De tal forma, que las coordenadas pueden ser superpuestas en los planos ya existentes y lograr ubicar la zona de proyecto en un plano topográfico. (Para el complemento de la información dirigirse al anexo 6).

A continuación se presenta un registro fotográfico del trabajo en campo para el posicionamiento geográfico de las placas, por medio del uso de GPS de doble frecuencia:

Tabla 22: Registro fotográfico posicionamiento por GPS.

REGISTRO FOTOGRÁFICO	OBSERVACIONES
 	Placa GPS 1, ubicada en el kilómetro 1+950 metros en la vía que comunica La Gran Vía con la Esperanza costado izquierdo. Placa GPS 2, ubicada en el kilómetro 1+900 metros en la vía que comunica La Gran Vía con la Esperanza costado derecho frente a la finca Tulipán.
 	Placa GPS 3, ubicada en el kilómetro 1+00 metros en el corredor alterno eje de estudio, que inicia en la finca La Sirenita y finaliza en el restaurante Buen Amigo. Placa GPS 4, ubicada en el kilómetro 1+100 metros.
	Posición del GPS de doble frecuencia sobre las placas.

Fuente: Elaborado por autores (2018).

5.2. Levantamiento topográfico

Este proceso consistió en la ubicación geográfica de los puntos del terreno sobre un plano horizontal, o lo que se conoce como planimetría. Este trabajo se complementó con una posterior nivelación o levantamiento altimétrico, que permitió darle altura sobre el nivel del mar a cada uno de los puntos del terreno, y a su vez, una pendiente a la zona de estudio.

5.2.1. Planimetría

Es un estudio de suma importancia para el desarrollo del proyecto, ya que permitió brindarle coordenadas horizontales a los árboles, puertas de acceso, postes de luz, quebradas y demás elementos presentes en el terreno, que de acuerdo con su condición e importancia delimitarían el diseño geométrico de la vía. Es importante destacar que este trabajo se realizó conjuntamente con dos estudiantes de ingeniería Topográfica en proceso de grado de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas, que de acuerdo con los lineamientos de la Facultad, brindaron apoyo al desarrollo de relaciones profesionales.

Para el proceso de trabajo de campo se dispuso el uso de una estación total de la marca Topcon con referencia GTS230W suministrada por la Universidad Santo Tomas sede Bogotá, con la cual se determinó una metodología de dos etapas: partiendo de una poligonal que permitió ajustar los errores normales de medición y finalizando con la radiación de los puntos importantes del terreno.

Respondiendo a la metodología de trabajo, se inicia el desarrollo de la planimetría con la generación de una poligonal abierta que parte de los pares conocidos GPS 1 y GPS 2, y finaliza en los pares conocidos GPS 3 y GPS 4. Para conectar las placas de los pares conocidos, se hace necesaria la implementación de deltas intermedios donde se ubicará la estación a medida que se avance en el abscisado del terreno y se presenten obstáculos que impidan la visibilidad de la estación. Estos deltas consisten en estacas de madera dura hincadas en el

terreno sobre las cuales van enterradas unas puntillas aceradas que permiten la confianza del armado de la estación por la fijación de un punto afirmado en la zona, como se observa en el registro fotográfico.

Tabla 23: Registro fotográfico de levantamiento topográfico[s1].

REGISTRO FOTOGRÁFICO	OBSERVACIONES
	Instalación de los deltas intermedios, que permiten la generación de una poligonal abierta para unir las coordenadas de los puntos conocidos y determinar los errores de medición.
	Posicionamiento de la estación total sobre las placas de los puntos conocidos y los deltas intermedios hincados en el terreno, cuya función es medir los ángulos y las distancias que separan cada punto, para su posterior tratamiento y determinación de las coordenadas.

Fuente: Elaborado por autores (2018).

Una vez se logró conectar las placas conocidas por medio de ángulos y distancias, se procede al tratamiento de los datos para obtener las coordenadas de cada delta y la precisión de llegada a los GPS3 y GPS4, los cuales serán los parámetros de entrada de la posterior

radicación del terreno. A continuación, se presenta el ajuste de la poligonal abierta con la cartera obtenida en campo, por simplicidad de diseño se ocultan las columnas de las correcciones angulares y azimutales, las cuales se presentan en detalle en técnico del documento.

Tabla 25: Ajuste poligonal abierta, trabajo en campo.

DELTA	PUNTO	ANGULO HORIZONTAL OBSERVADO			AZIMUT					DISTANCIA	PROYECCIONES		COORRECCIONES		PROY CORREGIDAS		COORDENADAS	
		°	'	''	°	'	''	DECIMAL	ENTRE 0-360		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
GPS1	GPS2	0	0	0	167	40	48,0532233	167,680015	167,6800148	90,56049886							1006989,019	961564,249
	D1	204	48	15	12	29	3,05322331	372,484181	12,48418145	54,553	53,2633074	11,791942	0,00470031	0	53,2680077	11,791942	1007042,287	961576,0409
D1	GPS1	0	0	0	192	29	3,05322331	192,484181	192,4841815								1007042,287	961576,0409
	D2	280	27	36	112	56	39,0532233	472,944181	112,9441815	91,791	-35,7807816	84,5300145	0,00790874	0	-35,7728729	84,5300145	1007006,514	961660,571
D2	D1	0	0	0	292	56	39,0532233	292,944181	292,9441815								1007006,514	961660,571
	D3	189	41	5	122	37	44,0532233	482,628904	122,6289037	57,434	-30,9660315	48,3711613	0,00494853	0	-30,961083	48,3711613	1006975,548	961708,9421
D3	D2	0	0	0	302	37	44,0532233	302,628904	302,6289037								1006975,548	961708,9421
	D4	184	22	32	127	0	16,0532233	487,004459	127,0044592	72,591	-43,6874552	57,9729207	0,00625447	0	-43,6812008	57,9729207	1006931,861	961766,915
D4	D3	0	0	0	307	0	16,0532233	307,004459	307,0044592								1006931,861	961766,915
	D5	169	57	12	116	57	28,0532233	476,957793	116,9577926	78,441	-35,5548305	69,9202725	0,0067585	0,00095688	-35,548072	69,9212294	1006896,306	961836,8363
D5	D4	0	0	0	296	57	28,0532233	296,957793	296,9577926								1006896,306	961836,8363
	D6	212	19	55	149	17	23,0532233	509,289737	149,289737	32,273	-27,7456058	16,4841708	0,00278065	0	-27,7428251	16,4841708	1006868,56	961853,3204
D6	D5	0	0	0	329	17	23,0532233	329,289737	329,289737								1006868,56	961853,3204
	D7	124	34	45	93	52	8,05322331	453,868904	93,86890367	98,638	-6,64534766	98,4138933	0,00849868	0	-6,63684897	98,4138933	1006861,915	961951,7343
D7	D6	0	0	0	273	52	8,05322331	273,868904	273,8689037								1006861,915	961951,7343
	D8	171	7	39	84	59	47,0532233	444,996404	84,99640367	56,648	4,94738141	56,4315454	0,00488081	0	4,95226222	56,4315454	1006866,862	962008,1659
D8	D7	0	0	0	264	59	47,0532233	264,996404	264,9964037								1006866,862	962008,1659
	D9	170	13	48	75	13	35,0532233	435,226404	75,22640367	37,092	9,46321509	35,8645232	0,00319586	0	9,46641095	35,8645232	1006876,325	962044,0304
D9	D8	0	0	0	255	13	35,0532233	255,226404	255,2264037								1006876,325	962044,0304
	D10	288	14	58	183	28	33,0532233	543,475848	183,4758481	23,744	-23,7005331	-1,43605999	0,00204579	0	-23,6984873	-1,43605999	1006852,625	962042,5943
D10	D9	0	0	0	3	28	33,0532233	3,47584812	3,475848118								1006852,625	962042,5943
	D11	121	25	42	124	54	15,0532233	124,904181	124,9041815	45,001	-25,743858	36,9099415	0,0038773	0	-25,7399807	36,9099415	1006826,881	962079,5043
D11	D10	0	0	0	304	54	15,0532233	304,904181	304,9041815								1006826,881	962079,5043
	D12	229	50	25	174	44	40,0532233	534,744459	174,7444592	38,185	-38,0238551	3,50437836	0,00329003	0	-38,0205651	3,50437836	1006788,857	962083,0087
D12	D11	0	0	0	354	44	40,0532233	354,744459	354,7444592								1006788,857	962083,0087
	D13	125	43	50	120	28	30,0532233	480,475015	120,4750148	63,231	-32,0579755	54,5017942	0,005448	0	-32,0525275	54,5017942	1006756,799	962137,5105
D13	D12	0	0	0	300	28	30,0532233	300,475015	300,4750148								1006756,799	962137,5105
	D14	168	35	26	109	3	56,0532233	469,06557	109,0655703	57,709	-18,8394126	54,547275	0,00497223	0	-18,8344403	54,547275	1006737,96	962192,0577
D14	D13	0	0	0	289	3	56,0532233	289,06557	289,0655703								1006737,96	962192,0577
	D15	206	55	16	135	59	12,0532233	495,986681	135,9866815	60,69	-43,6376259	42,178593	0,00522907	0	-43,6323968	42,178593	1006694,322	962234,2363
D15	D14	0	0	0	315	59	12,0532233	315,986681	315,9866815								1006694,322	962234,2363
	GPS3	175	18	11	131	17	23,0532233	491,289737	131,289737	152,298	-100,469502	114,457677	0,01312205	0	-100,3942	114,457677	1006593,928	962348,694
GPS3	D15	0	0	0	311	17	23,0532233	311,289737	311,289737		0							
	GPS4	219	33	27	170	50	50,0532233	530,847237	170,847237	177,7117461	-175,442							
Sumatoria observados		3243,16722								1020,319	-395,178911	784,444043	0,08791104	0,00095688				

Fuente: Elaborada por los estudiantes de la Universidad Distrital (2018).

Para determinar las coordenadas exactas es primordial en primera instancia ajustar los valores de las proyecciones norte y este de cada delta, con respecto a las proyecciones reales determinadas por el trabajo del posicionamiento por GPS de doble frecuencia, de tal forma que en la tabla 25 se muestran el error a ajustar.

Tabla 24: Proyecciones de llegada en la poligonal abierta.

	NS	EW
COORDENADAS		
GPS1	1006989,019	961564,249
GPS3	1006593,928	962348,694
PROYECCIONES GPS1 - GPS3		
REALES	-395,091	784,445
EN CAMPO	-395,179	784,444
Errores	-0,088	-0,001

Fuente: Elaborada por los autores (2018).

Con las diferencias de llegada en las proyecciones y una longitud de los lados de la poligonal de 1020,319 metros, se concede una precisión del levantamiento de 11605,580 unidades por cada unidad de error, una precisión baja pero aceptable para la radiación del terreno.

Para la parte final de la metodología de planimetría, una vez ajustados los valores de las coordenadas de cada delta en el terreno, con ayuda de dos prismas y la estación Topcon GTS230W se procedió a realizar un barrido de los elementos más importantes presentes en la zona de trabajo y que por su extensión, material o posición, delimitaban el diseño geométrico de la vía. Algunos aspectos que se encontraron en la zona de estudio, fue la presencia de cerca viva, cerramiento, cunetas en mal estado, árboles, postes de luz, cajas de contador y puertas de acceso a las fincas. Como resultado del levantamiento se obtiene un plano topográfico digitalizado en AutoCAD en la figura 19, que consiste en la representación a detalle de las características presentes en terreno.

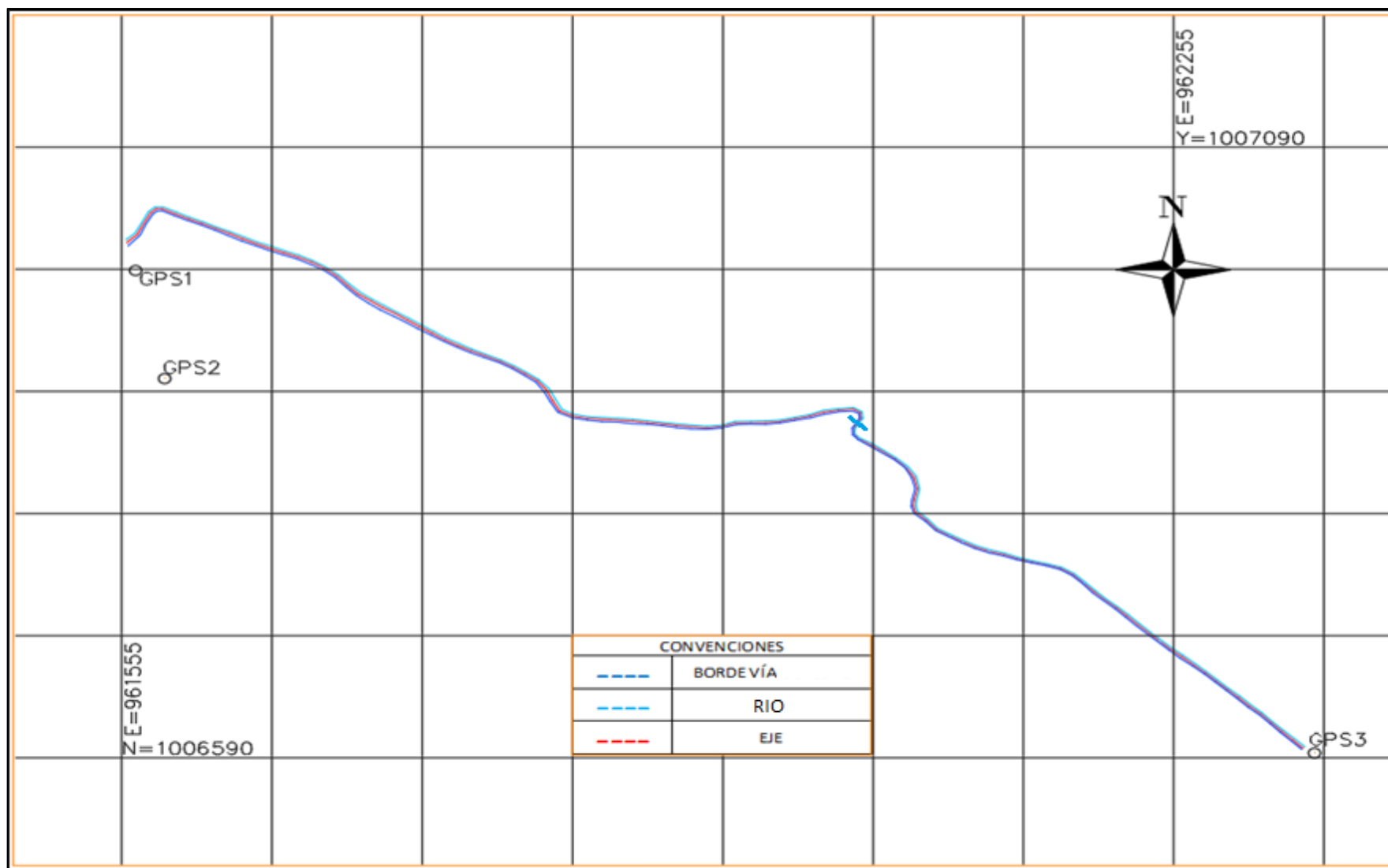


Figura 18: Representación en planta de la zona de estudio.
Fuente: Elaborada por los autores.

Así mismo, se presenta en la siguiente figura el plano de perfil del levantamiento realizado sobre el eje de la vía:

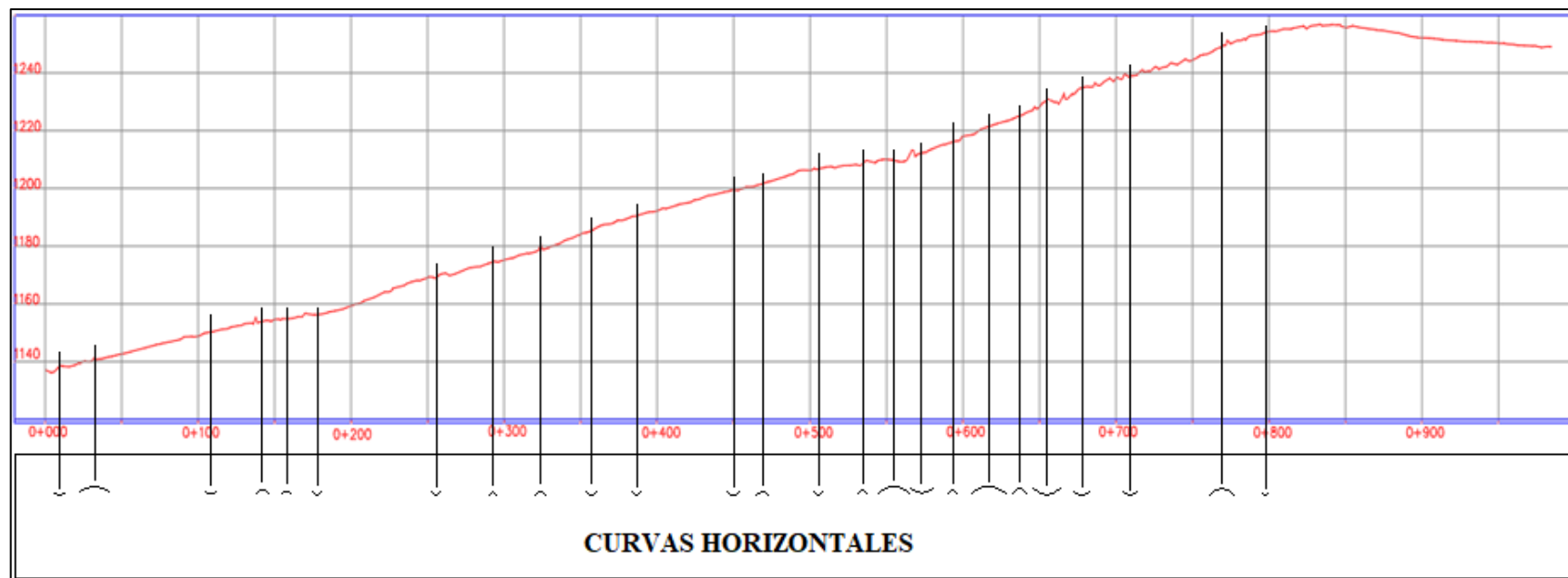


Figura 19: Representación en perfil de la zona de estudio.
Fuente: Elaborado por los autores.

5.3. Estudio geotécnico

El conocimiento de las propiedades del suelo sobre el que se va a realizar la vía es quizá el parámetro más importante dentro de los existentes en la construcción de una carretera, ya que este factor es un limitante directo para el tamaño y peso de los vehículos que pueden usar esta vía, además de la resistencia a compresión que posee la subrasante, también es necesario verificar que este tipo de suelo no cuente con propiedades expansivas que pueden ser el caso más desfavorable en cualquier tipo de suelo, ya que al tener contacto con el agua genera un cambio volumétrico considerable y provocaría daños en la superficie de rodadura, aumentando el índice de accidentalidad e inseguridad vial.

El estudio geotécnico se realizó en dos etapas: iniciando con la obtención de muestras inalteradas en moldes CBR por medio de apiques en el terreno para determinar la capacidad de soporte del suelo en el laboratorio, seguido de la utilización del cono dinámico de penetración que por medio de una correlación permite calcular el valor de CBR en campo. De acuerdo con los objetivos planteados, se espera que el suelo cumpla los requerimientos mínimos admitidos por el Ministerio de Transporte y el Departamento de Planeación Nacional, que en cuanto a soporte de la subrasante para una estructura de placa-huella específica un valor mínimo de 3% en el CBR significativo del terreno. Cabe aclarar, que el suelo encontrado en la zona del proyecto es en mayor proporción arcilloso con algún porcentaje de gravas y por ende, permite la realización del ensayo CBR para determinar la capacidad de soporte de la subrasante.

Los resultados obtenidos durante los ensayos de laboratorio para las muestras inalteradas con los moldes CBR, datan un material arcilloso que cumple a cabalidad los requerimientos de la norma, al presentar valores de 3,21% y 7,1% respectivamente en los apiques 1 y 2. Además se verificó que el aumento volumétrico del material arcilloso cuando se sumerge, no supera los valores críticos de expansión (15%) exigido por el Instituto Nacional

De Vías. El procedimiento, análisis y resultado detallados del laboratorio, se evidencian en el anexo 7 y el registro fotográfico se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 25: Registro fotográfico del estudio geotécnico.

REGISTRO FOTOGRÁFICO	OBSERVACIONES
	Imágenes del trabajo de campo para los apiques realizados, en esta imagen se evidencia la presencia de gravas que dificultaron el procedimiento de extracción de las muestras en el terreno
	Moldes CBR de 6" diámetro y 7" de altura, los cuales se hincaron con golpes al suelo para extraer las muestras de los apiques. Se envuelven en plástico para conservar las propiedades y condiciones del terreno antes de realizar los ensayos de laboratorio.
	Molde #3 con la muestra del primer apique previa a la penetración con la maquina universal y el pistón de 3" para evaluar el porcentaje de CBR.
	Muestra sumergida en agua por 5 días para evaluar el cambio volumétrico representado en el porcentaje de expansión, para luego someter a penetración nuevamente y determinar el valor de CBR saturado.

Fuente: Elaborada por los autores (2018).

Debido a que solo se pudieron obtener dos especímenes de muestras inalteradas para ensayo CBR en laboratorio, producto de la presencia de gravas que impedían la penetración de los moldes en el suelo, se realizó un complemento de información al ejecutar una serie de correlaciones en campo para determinar el valor de CBR con el uso del cono dinámico de penetración. Consistió en un procedimiento sencillo que relaciona la cantidad de milímetros que penetra un cono tras un número determinado de golpes de una masa de 8 kg con una altura de caída de 575mm sobre la lanza de penetración, con las correlaciones del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos para establecer el valor de soporte de la subrasante.

Con relación a los criterios del Manual de diseño geométrico de vías, se realizó el estudio geotécnico del terreno cada 50 metros hasta llegar a la abscisa K1+000m, con la finalidad de adquirir mayor información y seguridad en la determinación las condiciones del terreno. En general, los resultados obtenidos a partir del trabajo de campo no disciernen mucho de los valores ya conocidos en los apiques previamente realizados, sin embargo, presentan algunos puntos críticos que requieren un estudio más detallado, bien sea por alteraciones a la muestra extraída en campo, por error en la medición de la profundidad de penetración o por anomalías en la matriz arcillosa. Consecuentemente, se presentan los resultados hallados para ciertos puntos de interés durante el trabajo en campo, donde la figura 21 permite observar la abscisa donde fue realizado el ensayo y los resultados obtenidos para cada profundidad de estudio. Información que se evidencia más a fondo en el plano de zonificación geológica.

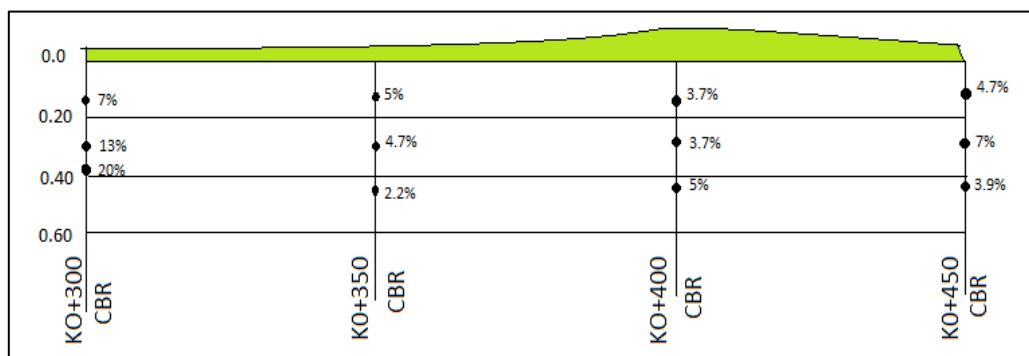


Figura 20: Resumen resultados ensayo CBR- Cono dinámico de penetración.
Fuente: Elaborada por los autores (2018).

Durante el desarrollo de las correlaciones en campo, se encontraron cinco puntos que no cumplen con las exigencias de la subrasante del 3% del CBR para una placa-huella, para lo cual se hace ineludible la estabilización del suelo por medio del uso de un geotextil impermeable que impida la penetración del nivel freático y compacte en mayor proporción el material arcilloso o la estabilización con cal para eliminar la susceptibilidad del agua sobre el suelo arcilloso, dotándolo de una resistencia suficiente para el sometimiento de las cargas del tránsito. El análisis detallado de los resultados obtenidos en campo se presenta en el anexo 8.

Tabla 26: Registro fotográfico del estudio geotécnico II.

REGISTRO FOTOGRÁFICO	OBSERVACIONES
	Para lograr penetrar la capa de la subrasante durante el ensayo, se realiza un descapote de aproximadamente 30cm, antes del inicio de la penetración.
	Proceso de penetración y medición de la profundidad a la cual se logró hincar el cono tras un número determinado de golpes con la masa de 8kg a una caída libre de 575 milímetros.

Fuente: Elaborada por los autores (2018).

6. TRABAJO DE INGENIERÍA

Una vez recopilada la información pertinente con relación a la situación social, la necesidad de la población, los estudios topográficos y geotécnicos, se da inicio al trabajo de diseño geométrico de la vía y la determinación de las dimensiones de la estructura de la superficie de rodadura. Para el desarrollo de este capítulo se hizo prioritario el uso adecuado del “Diseño Geométrico de Carreteras” de James Cárdenas y la “Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-Huella” del Instituto Nacional de Vías, mientras el “Manual de Diseño Geométrico de Carreteras” no aplica en cuanto a normativa, ya que no presenta parámetros evaluadores para corredores viales de pavimentos rígido en placa-huella.

Teniendo en cuenta el contexto que conlleva el proyecto, se limita el diseño geométrico de la vía a solventar el problema de movilidad que acarrea el sector, donde prima la necesidad de brindarles seguridad y comodidad de tránsito a los usuarios. Por tal motivo, los parámetros preliminares que se asumen para el diseño geométrico del proyecto, van determinados por las condiciones en las que se encuentra el terreno de trabajo, los elementos fijos presentes en el levantamiento como linderos y límites del mismo, la posibilidad de mantener la silueta existente en el corredor y la normativa mencionada en el marco referencial.

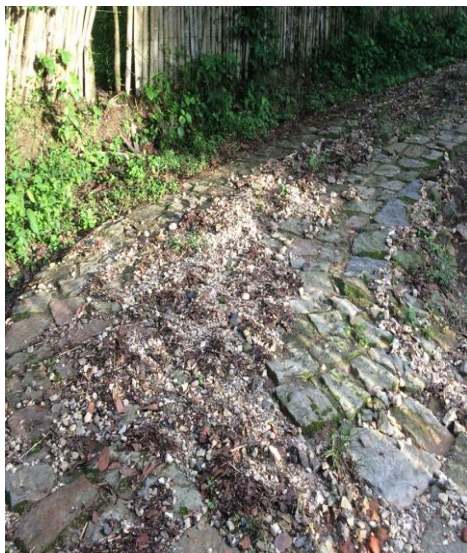
Con el fin de contextualizar este último capítulo, se hace evidente la obligación de suministrar un registro fotográfico de la silueta existente en ciertos puntos del terreno en la Tabla 27, que permita relacionar y argumentar las decisiones de los valores tomados con el soporte fotográfico de la zona crítica.

Tabla 27: Silueta existente en el terreno.

REGISTRO FOTOGRÁFICO	OBSERVACIONES
	A-Fotografía tomada desde la abscisa K0+263m, donde se observa un terreno con una pendiente de 6,82% y un ancho de 6,32m medido desde la cerca viva del costado izquierdo hasta el cerramiento del costado derecho. Se observa la silueta de circulación de los vehículos en afirmado y cunetas en ambos costados.
	B-Fotografía tomada desde la abscisa K0+540m, donde se observa una subrasante arcillosa con gravas, una pendiente de 24,47% y un ancho de 4,17m medido desde el cerramiento del costado derecho hasta la cerca viva del costado izquierdo. Cabe resaltar que la cerca viva se encuentra sin mantenimiento y por ende ocupaba una mayor área.
	C-Fotografía tomada desde la abscisa K0+577m, donde se observa cauce de un afluente de agua que atraviesa la silueta de la vía en épocas de lluvia en un ancho de 2m, donde se recomienda realizar una obra adicional de canalización para que no afecte la estructura de la placa-huella, ya que este se encuentra fuera del alcance del proyecto.



D-Fotografía tomada desde la abscisa K0+590m, donde se evidencia la presencia de gran contenido de grava sobre la silueta, con una pendiente de 39,83% y un ancho de 4,32m medidos entre los costados de la silueta, ya que la vegetación del lugar impide encontrar el lindero de la misma. Cabe resaltar que en la zona acotada no hay presencia de entradas ni cercamiento.



E- Fotografía tomada desde la abscisa K0+638m, donde se encontró una superficie empedrada de 80m construida por los propietarios de la finca aledaña para su acceso, con una pendiente de 59,48% y un ancho de 5,32m desde el cerramiento del costado derecho hasta el cerramiento de la finca en el costado izquierdo.



F- Fotografía tomada desde la abscisa K0+815m, donde se observa el tramo final de la vía, la silueta del paso de los vehículos, una pendiente de 6,18% llegando a la cúspide y continuando con una pendiente negativa de 9,26% y un ancho promedio a lo largo del tramo de 5,26m entre los cerramientos.

Fuente: Elaborada por los autores (2018).

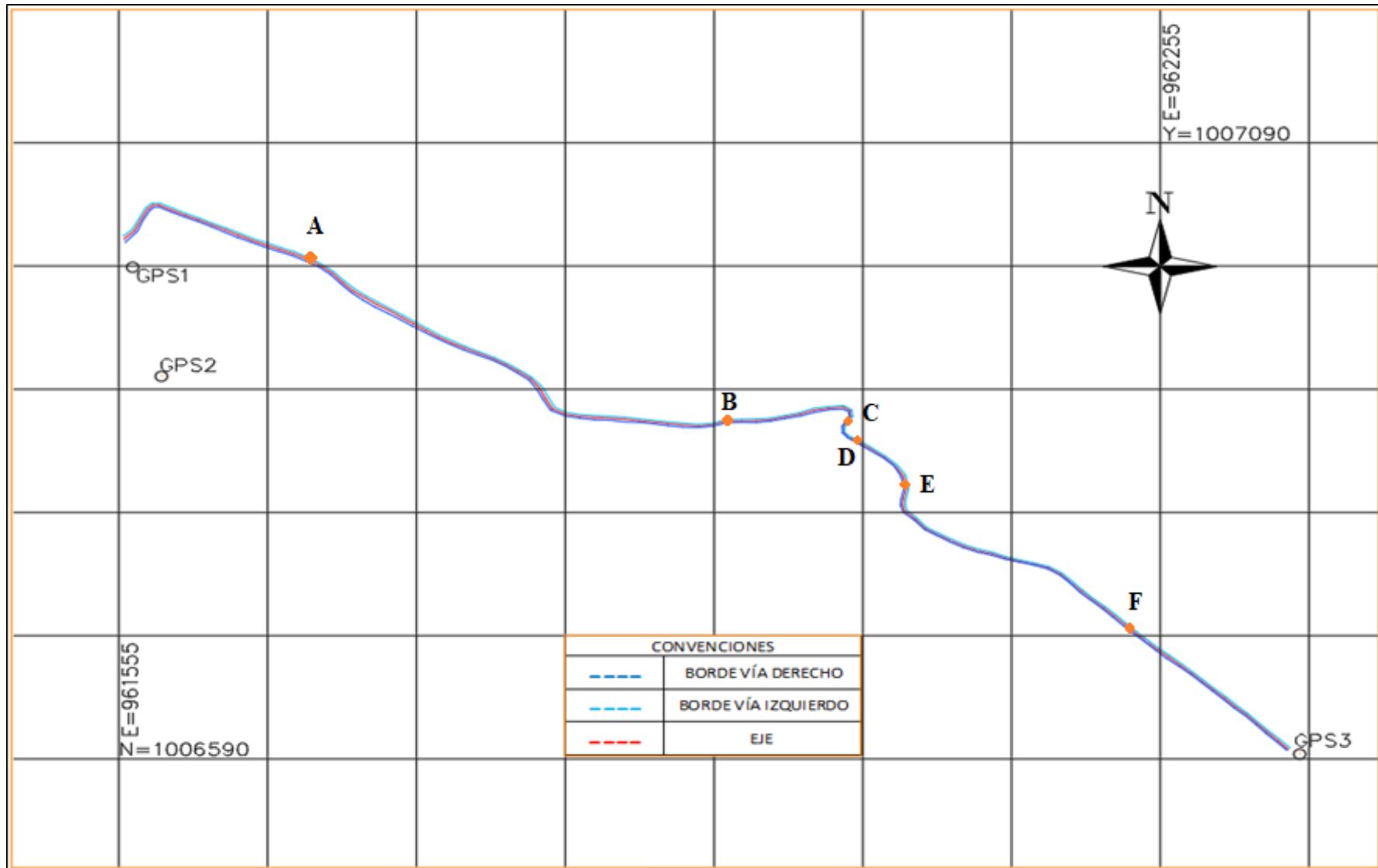


Figura 21: Observación paramentos en planta.
Fuente: Elaborada por los autores (2018).

Con el registro fotográfico en la figura 27 y la orientación espacial que se logró determinar por los linderos existentes en la silueta del proyecto, se tiene un ancho promedio de vía de 5,30m medidos entre los cerramientos o entre los limites precisados por las capas vegetales de las cercas vivas.

Para dar inicio al diseño geométrico de la vía se lleva a cabo el uso de la software CivilCAD 3D, el cual funciona como la herramienta que nos va a permitir unir y consolidar la información recopilada durante el posicionamiento geográfico, el levantamiento topográfico y la nivelación, dándonos una representación gráfica del terreno ubicado sobre un sistema de coordenadas, que nos muestre las condiciones más certeras de la zona para poder trabajar. El programa CivilCAD 3D nos permite generar una superficie TIN por medio de la triangulación de 1131 detalles levantados durante el trabajo de campo, una cartera registrada y adjuntada como archivo .XCL, donde será la nube de puntos la base preliminar del diseño en planta y en perfil de la vía.

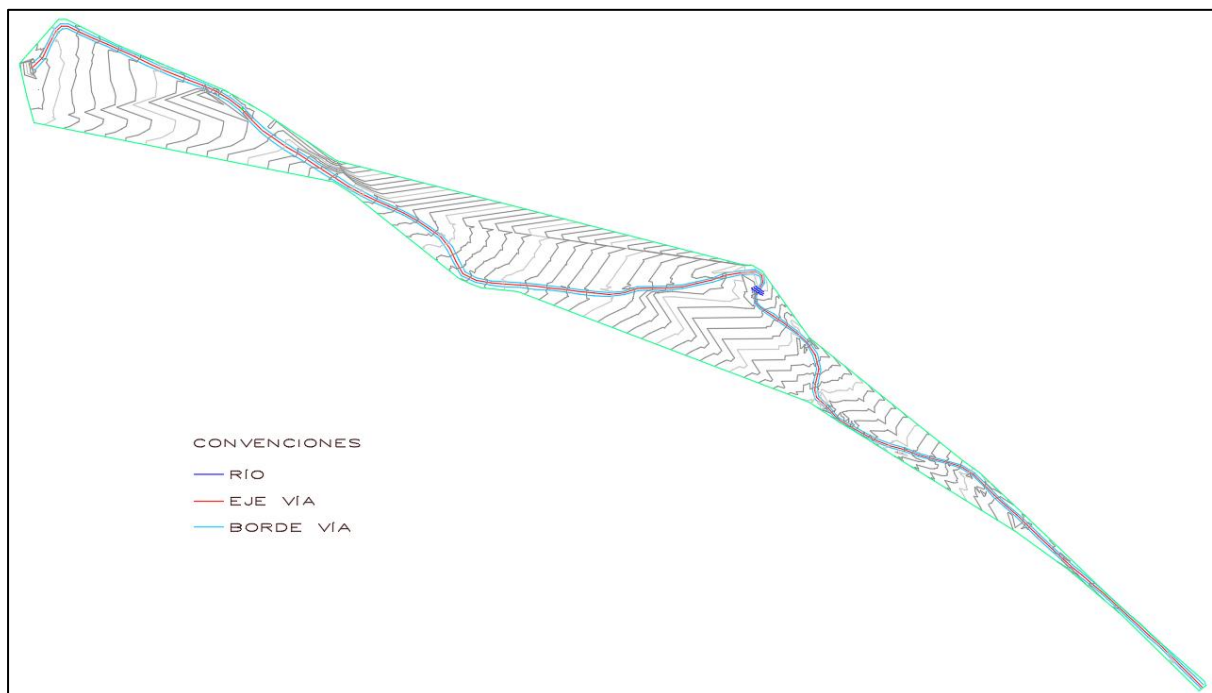


Figura 22. Superficie de la vía existente.
Fuente: Elaborada por los autores (2018).

6.1. DISEÑO EN PLANTA

Para el diseño geométrico en planta se toma de referencia el eje de vía existente en la silueta del terreno y los bordes de vía aproximados, los cuales nos suministren una base limitada sobre la que se puedan diseñar los demás elementos, esto quiere decir que como paso inicial, se acota sobre la superficie ya creada un eje preliminar de la vía al unir los puntos del levantamiento bajo la tipología de eje y a su vez los puntos de borde de vía.

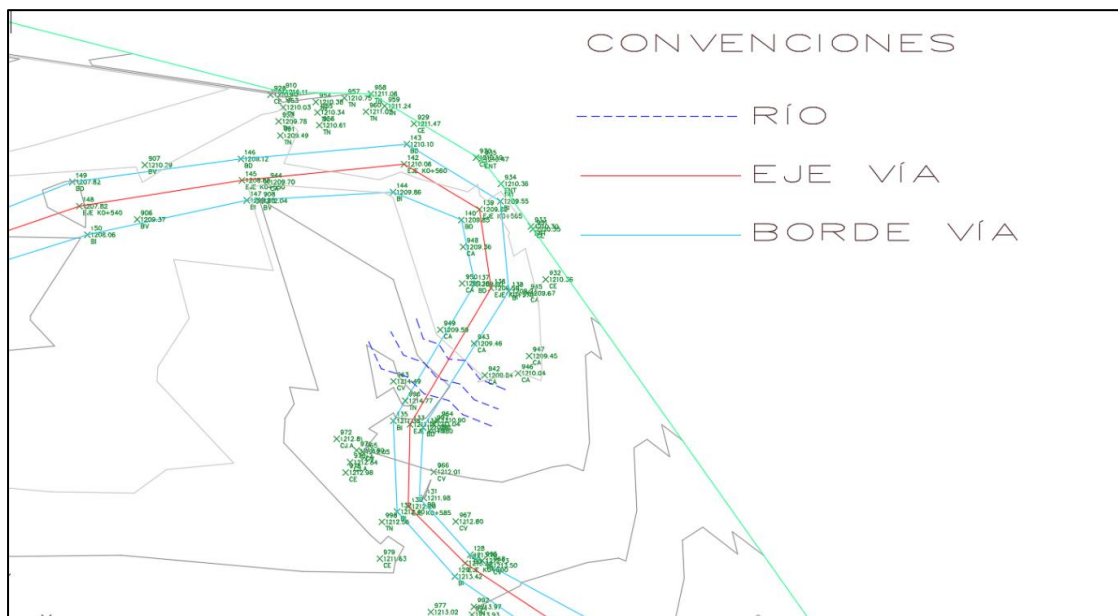


Figura 23. Alineamiento eje y borde vía (izq. y der.).

Fuente: Elaborada por los autores (2018).

Una vez puesta la silueta existente sobre la superficie creada, se procede a dibujar el alineamiento inicial del diseño de la vía al dibujar líneas rectas que se ajusten al eje preliminar de la silueta y de los límites del terreno. Estas rectas se harán lo más extensas posibles haciendo un alineamiento con la menor cantidad de cambios bruscos de dirección que permita un tránsito cómodo y seguro de los vehículos. Cabe resaltar que existe una zona de conflicto en la silueta existente, puesto que la presencia de un cuerpo de agua y el cambio exagerado de dirección en un tramo tan corto de vía, hace necesario que el alineamiento final se salga un poco de los límites y le brinde una mayor amplitud al desarrollo del elemento (Observar figura 24). Este criterio responde a la necesidad de evitar los conflictos en los linderos de la silueta existente,

que se traducen en la compra de predios y la ejecución de obras adicionales, y a su vez en el encarecimiento de la obra final.

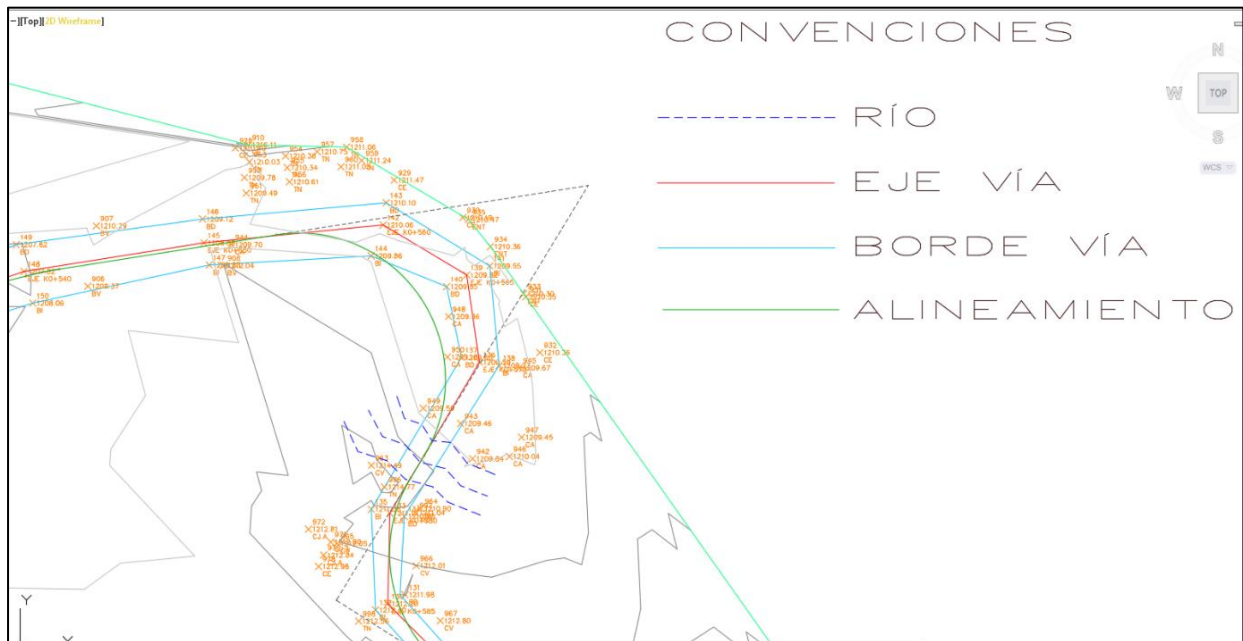


Figura 24. Alineamiento preliminar horizontal.
Fuente: Elaborada por los autores (2018).

Una vez realizado este proceso se da inicio al trabajo de diseño de la bancada, donde la determinación de las coordenadas exactas de los vértices del alineamiento nos permitirá alimentar la base de cálculos necesarios para darle las dimensiones requeridas a los elementos de la vía. Adicional a ello, se establecen los valores de ciertos parámetros básicos que limitan el diseño preliminar.

Tabla 28. Tabla resumen cálculos preliminares.

PUNTOS	COORDENADAS		DISTANCIA	RUMBO		AZIMUT						DELEXION						TIPO
	N	E		DELTA N	DELTA E	G			M	S	G			M	S			
BOP	1007011,84	961558,326																
			9,9899	6,919	7,206	46,1640	46,1640	46	9,8405	9	50,432							
1	1007018,75	961565,532										19,8605	19	51,6310	51	37,86098	I	
			25,7647	23,097	11,417	26,3035	26,3035	26	18,2095	18	12,571							
2	1007041,85	961576,949										88,3003	88	18,0155	18	0,93060	D	
			71,9604	-29,96	65,427	65,3962	114,6038	114	36,2250	36	13,502							
3	1007011,89	961642,376										2,4948	2	29,6881	29	41,28443	I	
			43,2103	-16,263	40,033	67,8911	112,1089	112	6,5370	6	32,217							
4	1006995,63	961682,409										12,9699	12	58,1969	58	11,81643	D	
			19,3961	-11,147	15,873	54,9211	125,0789	125	4,7339	4	44,034							
5	1006984,48	961698,282										11,1351	11	8,1084	8	6,50604	D	
			19,9576	-14,408	13,81	43,7860	136,2140	136	12,8423	12	50,540							
6	1006970,07	961712,092										13,1364	13	8,1817	8	10,90103	I	
			70,3494	-38,395	58,948	56,9223	123,0777	123	4,6606	4	39,639							
7	1006931,68	961771,04										7,9238	7	55,4302	55	25,81306	I	

Fuente: Elaborada por los autores (2018).

En la siguiente tabla se relacionan las características y la cantidad de elementos con los que cuenta el alineamiento preliminar propuesto.

Tabla 29. Parámetros de alineamiento horizontal.

PARAMETRO	CANTIDAD
Longitud total del alineamiento	984,786 m
Curvas	25

Fuente: Elaborada por los autores (2018).

Antes de continuar con el proceso, es clave aclarar que los dimensionamientos y selección de elementos son ajustados simultáneamente entre sí durante todo el proceso, y la consecución de parámetros no representa una cronología del diseño. Por el contrario, el diseño se puede enfrentar a muchos ajustes en el alineamiento, que varían las longitudes y en el presente documento, tan solo se presenta el resultado final de cada etapa.

6.1.1. Velocidades

El primer parámetro que se determina con respecto a las exigencias del terreno en cuanto a la pendiente vertical, el ancho de la calzada de la silueta existente y la limitación de espacio para lograr una buena longitud de desarrollo de los elementos geométricos, es una velocidad de diseño de 20 km/h durante todo el tramo de la vía, la cual subsane el uso de los parámetros mínimos de diseño, permita una entre tangencia agradable para el conductor y adicional a ello, permita maniobrar sin algún tipo de riesgo al vehículo y le brinde una mayor capacidad de reacción en el trayecto al ingresar o salir de las curvas horizontales y verticales.

A continuación se relacionan las velocidades específicas de los tramos rectos y de la longitud de curva circular de cada cambio de dirección.

Tabla 30. Velocidades específicas.

VELOCIDAD ESPECIFICA (KM/H)				VELOCIDAD ESPECIFICA (KM/H)			
	BOP -> EOP	EOP -> BOP	FINAL		BOP -> EOP	-> I	FINAL
CURVA 1	20	20	20	CURVA 13	20	20	20
CURVA 2	20	20	20	CURVA 14	20	20	20
CURVA 3	20	20	20	CURVA 15	20	20	20
CURVA 4	20	20	20	CURVA 16	20	20	20
CURVA 5	20	20	20	CURVA 17	20	20	20
CURVA 6	20	20	20	CURVA 18	20	20	20
CURVA 7	20	20	20	CURVA 19	20	20	20
CURVA 8	20	20	20	CURVA 20	20	20	20
CURVA 9	20	20	20	CURVA 21	20	20	20
CURVA 10	20	20	20	CURVA 22	20	20	20
CURVA 11	20	20	20	CURVA 23	20	20	20
CURVA 12	20	20	20	CURVA 24	20	20	20
				CURVA 25	20	20	20

Fuente: Elaborada por los autores (2018).

Si bien es cierto que el terreno es montañoso y presenta pendientes de más del 10% que provocan el aumento de la velocidad de tránsito de los vehículos que vienen con la pendiente a favor, es posible limitar este aspecto con el uso de bandas de frenado, tachas reductoras de velocidad, pasos a desnivel y señalización vertical de advertencia de límites de velocidad cambios en sentido longitudinal, que obliguen a los usuarios a ceñirse a los parámetros de diseño y poder darle seguridad al transitar.

6.1.2. Radios de curvatura.

Quizás el parámetro más exigente durante el proceso de diseño es la magnitud de los radios en las curvas horizontales, ya que radios muy pequeños suministran pequeñas longitudes de curva y por el contrario, radios muy grandes limitan o impiden el desarrollo de las longitudes de las curvas cercanas. Estas magnitudes se determinaron respondiendo a los parámetros implementados en el manual de placa-huella impartido por el INVIAS y no por el Manual de

Diseño geométrico de carreteras emitido por la misma entidad , las exigencias presentes en la zona del proyecto, las limitaciones del ancho del terreno (paramentos) y los cambios de dirección en tramos cortos, los cuales se vieron subsanados y favorecidos por la carencia de una velocidad mayor y una inclinación transversal suficientemente pronunciada para contrarrestar las fuerzas centrífugas.

Tabla 31. Radios de curvas y entre tangencia.

RADIO DE CURVAS				ENTRETANGENCIAS (m)			
CURVA	RADIO (m)	CURVA	RADIO (m)	CURVAS		CURVAS	
1	11	13	12	1 - 2	13,16	13-14	26,64
2	11	14	10	2- 3	60,85	14 - 15	29,74
3	20	15	20	3- 4	41,41	15 - 16	12,05
4	12	16	8	4- 5	16,96	16 - 17	1,40
5	11	17	8	5- 6	17,62	17 - 18	15,76
6	11	18	12	6- 7	67,97	18 - 19	20,34
7	16	19	18	7- 8	36,96	19 - 20	6,08
8	20	20	14	8- 9	26,41	20 - 21	4,31
9	14	21	16	9- 10	22,26	21 - 22	11,86
10	12	22	20	10 - 11	18,29	22 - 23	24,55
11	20	23	16	11 - 12	70,40	23 - 24	59,29
12	12	24	18	12-13	15,47	24 - 25	20,97
		25	20				

Fuente: Elaborada por los autores (2018).

6.1.3. Tipos de curvatura.

El siguiente parámetro a tener en cuenta es la selección del grupo de curvas horizontales que se va a utilizar en el alineamiento determinado, esto depende de las longitudes de entre tangencia, los linderos que limitan el desarrollo de la curva, los ángulos de deflexión entre las tangentes del alineamiento y los radios fijados. Esta tipología de curvas se divide en tres grupos principalmente: curvas circulares, curvas espirales y curvas compuestas, y cada una cumple la función en casos particulares de permitir cambios de dirección que no sean bruscos para el conductor.

De acuerdo a lo anterior, para el alineamiento particular del proyecto se utilizaron curvas circulares durante todo el recorrido, esto responde básicamente a tres argumentos:

- Según los testimonio recopilados durante el trabajo de campo, se identifica que la población presenta una necesidad importante de que se mejoren las condiciones de

movilidad de la zona, donde la solución principal es la construcción de una vía sobre la silueta existente en el terreno. Sin embargo, es claro destacar que los predios colindan durante todo el planteamiento geométrico, eso quiere decir que el mínimo cambio en la geometría de la misma, entraría a invadir los terrenos de los habitantes de la zona y posiblemente a sobrepasar las viviendas. Por tal motivo, la selección de una curva espiral implicaría el cambio en el trazo existente al implementar curvas más amplias, alineamientos espirales que incrementan los ángulos de deflexión y así mismo, el uso de una mayor cantidad de terreno para su desarrollo, que en definitiva implicaría un trazado aislado de la zona.

- La carencia de una distancia razonable de separación entre curvas y los cambios de dirección tan constantes, impiden el desarrollo de los brazos espirales antes y después de la curva, haciendo que las longitudes de una curva se crucen con las de la siguiente curva. Por otra parte, el uso de curvas compuestas crea la exigencia de usar radios de curvatura de mayores dimensiones, que hagan imperceptible al usuario el cambio brusco de dirección.
- El manual de placa-huella impartido por el gobierno nacional, hace aclaraciones en cuanto a la selección de radios menores a los impuestos por el Manual de diseño de carreteras y las cortas entre tangencias, al reconocer que las condiciones normales de esta categoría de vías impide la ejecución correcta de los elementos de las diferentes curvas. Por ende, asume el uso de curvas circulares en todas las condiciones posibles, que apoyado por limitaciones a la velocidad mantengan la seguridad en el recorrido.

6.1.4. Elementos de las curvas

Con el fin de poder materializar en el terreno los diferentes fragmentos del alineamiento, se hacen los cálculos de los elementos requeridos de cada curva los cuales nos

CURVA 9			CURVA 10			CURVA 11			CURVA 12		
R (m)	14,00	RAD	R (m)	12,00	RAD	R (m)	20,00	RAD	R (m)	12,00	RAD
DEFLEXIÓN	28,45	0,49655638	DEFLEXIÓN	52,53	0,91675397	DEFLEXIÓN	2,04	0,03561332	DEFLEXIÓN	19,41	0,33876402
ARCO	5,00		ARCO	5,00		ARCO	5,00		ARCO	5,00	
T (m)	3,55		T (m)	5,92		T (m)	0,36		T (m)	2,05	
CL (m)	6,88		CL (m)	10,62		CL (m)	0,71		CL (m)	4,05	
E (m)	0,44		E (m)	1,38		E (m)	0,00		E (m)	0,17	
M (m)	0,43		M (m)	1,24		M (m)	0,00		M (m)	0,17	
GS	20,46		GS	23,87		GS	14,32		GS	23,87	
LS (m)	6,95		LS (m)	11,00		LS (m)	0,71		LS (m)	4,07	
CURVA 13			CURVA 14			CURVA 15			CURVA 16		
R (m)	12,00	RAD	R (m)	10,00	RAD	R (m)	20,00	RAD	R (m)	8,00	RAD
DEFLEXIÓN	11,39	0,19884702	DEFLEXIÓN	12,18	0,212642	DEFLEXIÓN	5,28	0,09217338	DEFLEXIÓN	130,28	2,27382051
ARCO	5,00		ARCO	5,00		ARCO	5,00		ARCO	5,00	
T (m)	1,20		T (m)	1,07		T (m)	0,92		T (m)	17,27	
CL (m)	2,38		CL (m)	2,12		CL (m)	1,84		CL (m)	14,52	
E (m)	0,06		E (m)	0,06		E (m)	0,02		E (m)	11,03	
M (m)	0,06		M (m)	0,06		M (m)	0,02		M (m)	4,64	
GS	23,87		GS	28,65		GS	14,32		GS	35,81	
LS (m)	2,39		LS (m)	2,13		LS (m)	1,84		LS (m)	18,19	
CURVA 17			CURVA 18			CURVA 19			CURVA 20		
R (m)	8,00	RAD	R (m)	12,00	RAD	R (m)	18,00	RAD	R (m)	14,00	RAD
DEFLEXIÓN	88,91	1,55175741	DEFLEXIÓN	7,09	0,12369281	DEFLEXIÓN	33,57	0,5859887	DEFLEXIÓN	31,22	0,54490871
ARCO	5,00		ARCO	5,00		ARCO	5,00		ARCO	5,00	
T (m)	7,85		T (m)	0,74		T (m)	5,43		T (m)	3,91	
CL (m)	11,21		CL (m)	1,48		CL (m)	10,40		CL (m)	7,53	
E (m)	3,21		E (m)	0,02		E (m)	0,80		E (m)	0,54	
M (m)	2,29		M (m)	0,02		M (m)	0,77		M (m)	0,52	
GS	35,81		GS	23,87		GS	15,92		GS	20,46	
LS (m)	12,41		LS (m)	1,48		LS (m)	10,55		LS (m)	7,63	
CURVA 21			CURVA 22			CURVA 23			CURVA 24		
R (m)	16,00	RAD	R (m)	20,00	RAD	R (m)	16,00	RAD	R (m)	18,00	RAD
DEFLEXIÓN	58,60	1,02284519	DEFLEXIÓN	16,05	0,28004101	DEFLEXIÓN	12,61	0,2200252	DEFLEXIÓN	28,12	0,49085587
ARCO	5,00		ARCO	5,00		ARCO	5,00		ARCO	5,00	
T (m)	8,98		T (m)	2,82		T (m)	1,77		T (m)	4,51	
CL (m)	15,66		CL (m)	5,58		CL (m)	3,51		CL (m)	8,75	
E (m)	2,35		E (m)	0,20		E (m)	0,10		E (m)	0,56	
M (m)	2,05		M (m)	0,20		M (m)	0,10		M (m)	0,54	
GS	17,90		GS	14,32		GS	17,90		GS	15,92	
LS (m)	16,37		LS (m)	5,60		LS (m)	3,52		LS (m)	8,84	
CURVA 25											
R (m)	20,00	RAD									
DEFLEXIÓN	2,47	0,04310529									
ARCO	5,00										
T (m)	0,43										
CL (m)	0,86										
E (m)	0,00										
M (m)	0,00										
GS	14,32										
LS (m)	0,86										

Fuente: Elaborado por los autores (2018).

Con los elementos ya determinados, se procede a darle una ubicación espacial bajo el sistema de posicionamiento geográfico de Magna Sirgas, otorgando a los elementos más importantes las coordenadas que durante la etapa constructiva serán necesarios localizarlos en el terreno. En la tabla 33 se muestran los resultados:

Tabla 33. Resumen ubicación de puntos importantes de las curvas en el terreno.

COORDENADAS ELEMENTOS CURVAS							
		N	E			N	E
CURVA 1	PO1	1007025,355	961556,524	CURVA 14	PO14	1006875,228	961991,0199
	PC1	1007017,420	961564,143		PC14	1006865,234	961991,381
	PT1	1007020,480	961566,385		PT14	1006865,536	961993,482
CURVA 2	PO2	1007027,404	961582,078	CURVA 15	PO15	1006853,476	962027,234
	PC2	1007032,278	961572,217		PC15	1006872,860	962022,309
	PT2	1007037,405	961586,658		PT15	1006873,231	962024,114
CURVA 3	PO3	1007030,256	961650,307	CURVA 16	PO16	1006867,208	962037,2641
	PC3	1007012,072	961641,980		PC16	1006875,111	962036,016
	PT3	1007011,727	961642,779		PT16	1006863,052	962044,099
CURVA 4	PO4	1006985,231	961676,149	CURVA 17	PO17	1006857,699	962050,2077
	PC4	1006996,141	961681,145		PC17	1006861,856	962043,372
	PT4	1006994,844	961683,525		PT17	1006850,945	962045,921
CURVA 5	PO5	1006976,095	961691,0827	CURVA 18	PO18	1006832,368	962052,8002
	PC5	1006985,097	961697,404		PC18	1006842,500	962059,230
	PT5	1006983,707	961699,024		PT18	1006841,629	962060,431
CURVA 6	PO6	1006978,599	961719,1568	CURVA 19	PO19	1006814,805	962064,6815
	PC6	1006970,987	961711,216		PC19	1006828,698	962076,127
	PT6	1006969,382	961713,153		PT19	1006820,050	962081,900
CURVA 7	PO7	1006945,69	961778,8439	CURVA 20	PO20	1006810,154	962070,2797
	PC7	1006932,283	961770,111		PC20	1006814,234	962083,672
	PT7	1006931,207	961772,043		PT20	1006806,701	962083,847
CURVA 8	PO8	1006897,393	961796,9995	CURVA 21	PO21	1006798,577	962098,2895
	PC8	1006915,496	961805,501		PC21	1006802,523	962082,784
	PT8	1006914,342	961807,616		PT21	1006787,397	962086,843
CURVA 9	PO9	1006888,461	961822,5628	CURVA 22	PO22	1006792,886	962109,4391
	PC9	1006900,326	961829,994		PC22	1006778,912	962095,131
	PT9	1006895,353	961834,749		PT22	1006775,501	962099,551
CURVA 10	PO10	1006881,884	961856,1517	CURVA 23	PO23	1006777,272	962128,802
	PC10	1006875,977	961845,706		PC23	1006763,364	962120,892
	PT10	1006870,000	961854,485		PT23	1006761,973	962124,118
CURVA 11	PO11	1006887,266	961875,3776	CURVA 24	PO24	1006727,404	962175,5413
	PC11	1006867,459	961872,599		PC24	1006744,615	962180,811
	PT11	1006867,373	961873,306		PT24	1006740,099	962188,302
CURVA 12	PO12	1006872,018	961944,5666	CURVA 25	PO25	1006739,336	962217,2723
	PC12	1006860,083	961943,324		PC25	1006725,231	962203,094
	PT12	1006860,348	961947,361		PT25	1006724,633	962203,715
CURVA 13	PO13	1006852,279	961965,1961				
	PC13	1006863,949	961962,402				
	PT13	1006864,271	961964,762				

Fuente: Elaborada por los autores (2018).

6.1.5. Sobreanchos

El sobreancho corresponde a la extensión del borde inclinado hacia donde la curva se dirige, el cual permite que las dimensiones de los vehículos giren sin ingresar al otro carril. La

determinación del sobreancho necesario para las curvas circulares, se encuentra representado en la sección transversal de curvas horizontales del capítulo inicial de la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella, donde el radio de curvatura y el ángulo de deflexión de la curva, estipulan un valor de ancho adicional a las curvas del alineamiento. La guía es clara en la transición de este sobreancho, donde menciona que se realiza de manera lineal hasta 6 metros antes de ingresar a la curva o 3 metros después de iniciar la curva. Cabe resaltar que en algunos casos la entre tangencia entre las curvas no sobrepasa un metro de longitud, por lo cual se hace necesario realizar la transición de la curva a lo largo del arco de la misma:

En la tabla 34 se muestra el cálculo de la transición del sobreancho en una curva que presenta la suficiente entre tangencia para desarrollar el sobreancho antes de ingresar en la curva y en otro que por el contrario no posee una longitud mínima, los sobreanchos en las curvas restantes se encuentran detallados en el archivo digital del diseño geométrico de la vía en formato Excel.

Tabla 34. Resumen Sobreanchos en las curvas.

CURVA 15				CURVA 16							
		SOBREANCHO (m)		0,45				SOBREANCHO (m)		1,8	
ABS PC	533,07					ABS INICIAL PC	546,97				
ABS PT	534,92			ABS INICIAL	527,07	ABS FINAL PT	565,16			ABS e MÁX INICIAL	552,97
				ABS FINAL	540,92					ABS e MÁX FINAL	559,16
ESTACION	ABSCISA	Lp	Sp								
ABS INICIAL	527,0747	0,0000	0,0000								
	528,0000	0,9253	0,0694								
	529,0000	1,9253	0,1444								
	530,0000	2,9253	0,2194								
B	530,0747	3,0000	0,2250								
	531,0000	3,9253	0,2944								
	532,0000	4,9253	0,3694								
	533,0000	5,9253	0,4444								
ABS PC	533,0747	6,0000	0,4500								
	534,0000		0,4500								
	534,0000		0,4500								
ABS PT	534,9182	6,0000	0,4500								
	535,0000	5,9182	0,4439								
	536,0000	4,9182	0,3689								
	537,0000	3,9182	0,2939								
B	537,9182	3,0000	0,2250								
	538,0000	2,9182	0,2189								
	539,0000	1,9182	0,1439								
	540,0000	0,9182	0,0689								
ABS FINAL	540,9182	0,0000	0,0000								

Fuente: Elaborada por los autores (2018)

CURVA 16						CURVA 16							
	VCH	20	KM/H		L	18,190564		VCH	20	KM/H		L	18,19056
	SENTIDO	D			ABS PC	546,96779		SENTIDO	D			ABS PC	546,9678
	ARCO	5			ABS PT	565,15836		ARCO	5			ABS PT	565,1584
	RADIO	8	M					RADIO	8	M			
	PERALTE (e)	2	%					PERALTE (e)	2	%			
	ANCHO CARRIL (a)	2,85	M					ANCHO CARRIL (a)	2,85	M			
	BOMBEO (BN)	2	%					BOMBEO (BN)	2	%			
	FACTOR AJUSTE (BW)	1						FACTOR AJUSTE (BW)	1				
	RAMPA	1,35	%					RAMPA	1,35	%			
					ELEVACIÓN SOBREALCHO							ELEVACIÓN SOBREALCHO	
	ABSCISA	DISTANCIA	PERALTE %		B IZQ	B DER		ABSCISA	DISTANCIA	PERALTE %		B IZQ	B DER
ABS PC	546,97	3,00	-2,00	-2,00	-0,06	-0,06	E	559,16	3,00	2,00	-2,00	0,06	-0,09
	547,00	2,97	-1,98	-2,00	-0,06	-0,06		560,00	2,16	1,44	-2,00	0,04	-0,09
	548,00	1,97	-1,31	-2,00	-0,04	-0,06		561,00	1,16	0,77	-2,00	0,02	-0,08
	549,00	0,97	-0,65	-2,00	-0,02	-0,07		562,00	0,16	0,11	-2,00	0,00	-0,08
B	549,97	0,00	0,00	-2,00	0,00	-0,08	B	562,16	0,00	0,00	-2,00	0,00	-0,08
	550,00	0,03	0,02	-2,00	0,00	-0,08		563,00	0,84	-0,56	-2,00	-0,02	-0,07
	551,00	1,03	0,69	-2,00	0,02	-0,08		564,00	1,84	-1,23	-2,00	-0,03	-0,06
	552,00	2,03	1,35	-2,00	0,04	-0,09		565,00	2,84	-1,89	-2,00	-0,05	-0,06
E	552,97	3,00	2,00	-2,00	0,06	-0,09	ABS PT	565,16	3,00	-2,00	-2,00	-0,06	-0,06

Fuente: Elaborado por los autores (2018)

6.2. DISEÑO EN PERFIL

El perfil tiene un papel muy importante en el diseño de una vía, ya que los diferentes valores de pendiente encontrados en el terreno y el tipo de superficie a instalar pueden hacer variar el diseño en planta buscando menores inclinaciones para que los vehículos que transitan el corredor no se vean expuestos a cambios bruscos de pendiente. También se debe tener en cuenta que las curvas verticales deben generar los menores volúmenes de movimientos de tierra, que hagan del proyecto una alternativa económicamente viable. Además se debe tener en cuenta que las curvas verticales no se deben cruzar con curvas horizontales, esto con el fin de que la visibilidad horizontal y vertical no se vea reducida por estos cambios.

6.2.1. Curvas verticales

En el bosquejo de curvas verticales se hace necesario reconocer que por motivos de geometría horizontal en el diseño en planta y limitación en cuanto al terreno del proyecto, no se tuvieron en cuenta algunos parámetros estipulados en el Manual de diseño geométrico para carreteras emitido por el INVIAS, ya que este terreno presenta características especiales como pendientes muy altas, velocidad de diseño baja y una superficie de rodadura que no se encuentra estipulada a lo largo de los diferentes capítulos del manual. Además, la Guía impartida para el diseño de Placa-huella permite obviar ciertos parámetros normativos, objetando las precarias condiciones en las que se encuentran los terrenos de las vías rurales.

Para el diseño de perfil de la vía es necesario la nube de puntos suministrada para la creación de las curvas de nivel en la superficie, donde fue ineludible nuevamente el uso de la herramienta CivilCAD 3D, que por medio del alineamiento creado en planta sobre la silueta existente en campo, se obtiene el contorno vertical del eje de la vía, como se muestra en la figura 30.

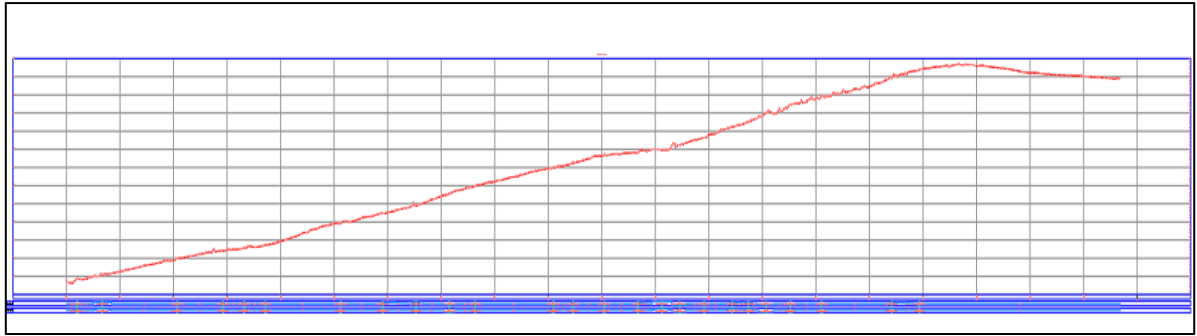


Figura 26. Resumen Perfil del terreno.
Fuente: Elaborada por los autores (2018)

6.2.2. Alineamiento vertical

Como se mencionó anteriormente el alineamiento vertical o tangente debe hacerse teniendo en cuenta la pendiente existente en el terreno, haciendo los menores cambios posibles en cuanto a corte y relleno de la superficie, para obtener el menor número de curvas y entre tangencias más largas como sea posible. Esto con el fin de no generar cambios abruptos en longitudes muy cortas y de esta manera crear una sensación de seguridad a los usuarios de la vía. En la figura (27) se muestra un alineamiento vertical en donde es posible observar el perfil existente de la vía (color rojo) y el alineamiento seleccionado (color azul).

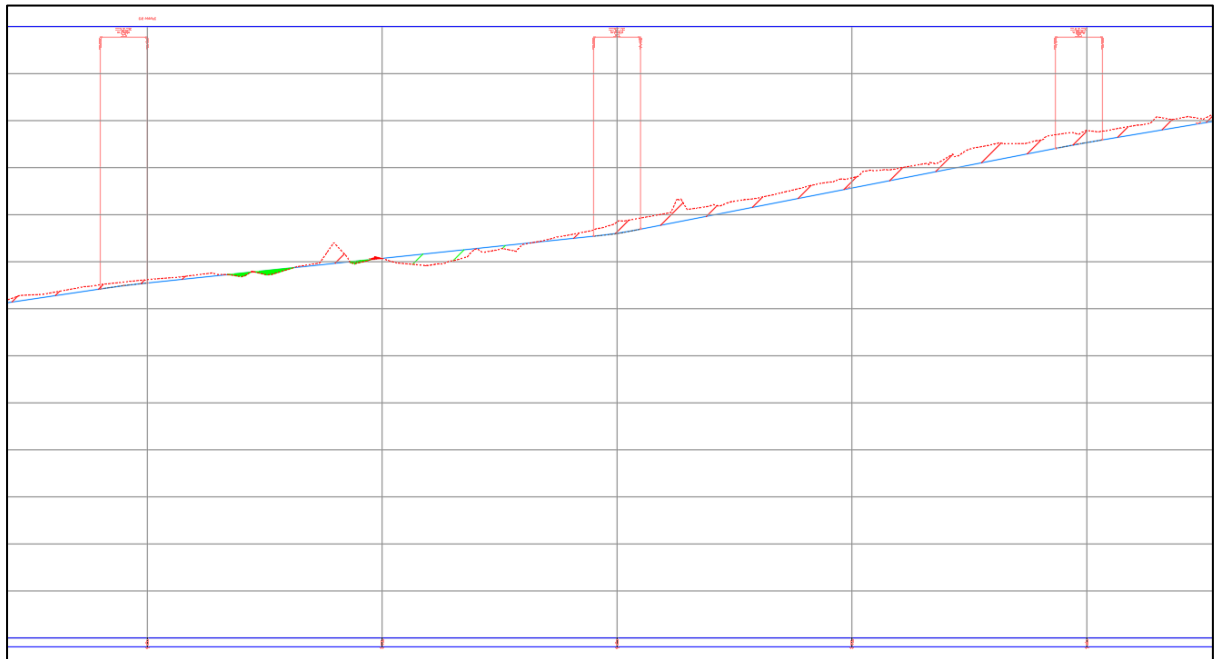


Figura 27. Resumen alineamiento vertical.
Fuente: Elaborada por los autores (2018).

Inmediatamente es posible calcular los volúmenes de corte (cut) y relleno (fill) para el alineamiento realizado en CivilCAD 3D y se muestran a continuación:

Tabla 36: Tabla de áreas y volúmenes de corte y relleno

Total Volume Table						
Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+000.00	0.78	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00
0+020.00	0.00	5.84	7.44	68.21	7.44	68.21
0+040.00	0.00	3.43	0.05	89.39	7.49	157.60
0+060.00	0.00	4.28	0.04	77.29	7.53	234.89
0+080.00	0.00	6.65	0.00	109.34	7.53	344.24
0+100.00	0.61	4.97	6.15	116.28	13.68	460.52
0+120.00	0.10	2.54	7.10	75.26	20.79	535.77
0+140.00	1.57	11.49	16.64	140.32	37.43	676.09
0+160.00	8.90	4.98	105.09	157.60	142.52	833.70
0+180.00	11.27	0.00	202.42	47.90	344.94	881.60
0+200.00	12.79	0.00	242.89	0.00	587.83	881.60
0+220.00	1.27	0.00	140.60	0.00	728.43	881.60
0+240.00	0.00	3.11	12.69	31.06	741.12	912.66
0+260.00	0.21	7.41	2.06	106.07	743.18	1018.73
0+280.00	4.44	4.56	46.49	119.70	789.67	1138.43
0+300.00	0.00	9.76	45.48	142.87	835.15	1281.30
0+320.00	0.00	5.40	0.00	151.57	835.15	1432.88
0+340.00	0.00	10.80	0.00	160.60	835.15	1593.47
0+360.00	0.00	4.80	0.00	151.36	835.15	1744.84
0+380.00	0.00	19.22	0.00	236.44	835.15	1981.28

Station	Fill Area	Cut Area	Fill Volume	Cut Volume	Cumulative Fill Vol	Cumulative Cut Vol
0+400.00	0.00	12.95	0.00	321.49	835.15	2302.77
0+420.00	0.00	10.31	0.00	232.81	835.15	2535.38
0+440.00	0.00	12.62	0.00	229.28	835.15	2764.66
0+460.00	0.00	8.31	0.00	208.18	835.15	2972.84
0+480.00	0.00	6.87	0.00	152.29	835.15	3125.14
0+500.00	0.00	7.02	0.00	138.91	835.15	3264.05
0+520.00	2.52	2.64	25.40	95.14	860.55	3359.20
0+540.00	1.09	5.30	36.05	79.60	896.60	3438.80
0+560.00	18.91	0.00	202.66	48.65	1099.26	3487.44
0+580.00	4.39	0.00	228.57	0.02	1327.83	3487.46
0+600.00	0.00	23.43	44.29	235.08	1372.13	3722.54
0+620.00	0.00	5.67	0.00	290.64	1372.13	4013.19
0+640.00	0.00	21.27	0.00	266.14	1372.13	4279.32
0+660.00	0.01	28.49	0.05	509.89	1372.17	4789.02
0+680.00	0.00	27.80	0.05	559.40	1372.22	5348.42
0+700.00	0.00	35.62	0.00	634.18	1372.22	5982.60
0+720.00	0.00	34.48	0.00	701.56	1372.22	6684.16
0+740.00	0.06	7.68	0.58	421.63	1372.80	7105.79
0+760.00	0.00	4.10	0.58	117.81	1373.37	7223.60
0+780.00	0.00	0.00	0.00	37.24	1373.37	7260.84
0+800.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1373.37	7260.84
0+820.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1373.37	7260.84
0+840.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1373.37	7260.84
0+860.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1373.37	7260.84
0+880.00	0.00	9.94	0.00	99.40	1373.37	7360.24
0+900.00	0.00	5.79	0.00	157.28	1373.37	7517.52
0+920.00	0.00	6.62	0.00	124.04	1373.37	7641.56
0+940.00	0.00	4.28	0.00	108.94	1373.37	7750.50
0+960.00	0.41	1.28	4.13	55.60	1377.51	7806.10
0+980.00	1.30	0.26	17.11	15.37	1394.62	7821.47
0+984.79	0.65	0.23	4.67	1.17	1399.29	7822.64

Fuente: Elaborado por los autores (2019)

Una vez determinado el porcentaje de inclinación que va a tener el alineamiento y los puntos donde hay cambio de pendiente, se procede a realizar el diseño de las respectivas curvas verticales, donde la longitud de visibilidad es el parámetro que limita el desarrollo de la misma y nos permite determinar la rasante final sobre la cual se va a desarrollar la vía. Para este caso se hace uso del capítulo IV del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS, donde la tabulación de ciertas características de diseño del software permiten determinar un valor

teórico de la longitud necesaria para tener una buena visibilidad en la curva, tal como se muestra en la tabla 37.

Tabla 37: Longitud de visibilidad de la curva vertical

CURVA 1			CURVA 2			CURVA 3		
DATOS	VALOR REDONDEADO		DATOS	VALOR REDONDEADO		DATOS	VALOR REDONDEADO	
TIPO DE CURVA	CONCAVA		TIPO DE CURVA	CONCAVA		TIPO DE CURVA	CONCAVA	
VCV	20,00	20,00	VCV	20,00	20,00	VCV	20,00	20,00
m	12,84	13,00	m	17,01	17,00	m	14,82	15,00
n	17,01	17,00	n	14,82	15,00	n	10,48	10,00
A	4,17	4,00	A	2,19	2,00	A	4,34	4,00
DP	20,00	20,00	DP	20,00	20,00	DP	20,00	20,00
Kmin	2,11	2,00	Kmin	2,11	2,00	Kmin	2,11	2,00
Lmin (seguridad)	8,78	9,00	Lmin (seguridad)	4,61	5,00	Lmin (seguridad)	9,14	9,00
Lmin (operación)	12,00	12,00	Lmin (operación)	12,00	12,00	Lmin (operación)	12,00	12,00
L max (drenaje)	208,50	209,00	L max (drenaje)	109,50	110,00	L max (drenaje)	217,00	217,00
Lv (m)	10,00	10,00	Lv (m)	10,00	10,00	Lv (m)	10,00	10,00

CURVA 4			CURVA 5			CURVA 6		
DATOS	VALOR REDONDEADO		DATOS	VALOR REDONDEADO		DATOS	VALOR REDONDEADO	
TIPO DE CURVA	CONVEXA		TIPO DE CURVA	CONVEXA		TIPO DE CURVA	CONCAVA	
VCV	20,00	20,00	VCV	20,00	20,00	VCV	20,00	20,00
m	10,48	10,00	m	19,44	19,00	m	16,74	17,00
n	19,44	19,00	n	16,74	17,00	n	16,38	16,00
A	8,96	9,00	A	2,70	3,00	A	0,36	0,00
DP	20,00	20,00	DP	20,00	20,00	DP	20,00	20,00
Kmin	0,61	1,00	Kmin	0,61	1,00	Kmin	0,61	1,00
Lmin (seguridad)	5,45	5,00	Lmin (seguridad)	1,64	2,00	Lmin (seguridad)	0,22	0,00
Lmin (operación)	12,00	12,00	Lmin (operación)	12,00	12,00	Lmin (operación)	12,00	12,00
L max (drenaje)	448,00	448,00	L max (drenaje)	135,00	135,00	L max (drenaje)	18,00	18,00
Lv (m)	10,00	10,00	Lv (m)	10,00	10,00	Lv (m)	10,00	10,00

CURVA 7			CURVA 8			CURVA 9		
DATOS	VALOR REDONDEADO		DATOS	VALOR REDONDEADO		DATOS	VALOR REDONDEADO	
TIPO DE CURVA	CONCAVA		TIPO DE CURVA	CONCAVA		TIPO DE CURVA	CONCAVA	
VCV	20,00	20,00	VCV	20,00	20,00	VCV	20,00	20,00
m	16,38	16,00	m	4,91	5,00	m	-4,90	-5,00
n	4,91	5,00	n	-4,90	-5,00	n	-7,94	-8,00
A	11,47	11,00	A	9,81	10,00	A	3,04	3,00
DP	20,00	20,00	DP	20,00	20,00	DP	20,00	20,00
Kmin	0,61	1,00	Kmin	0,61	1,00	Kmin	0,61	1,00
Lmin (seguridad)	6,97	7,00	Lmin (seguridad)	5,96	6,00	Lmin (seguridad)	1,85	2,00
Lmin (operación)	12,00	12,00	Lmin (operación)	12,00	12,00	Lmin (operación)	12,00	12,00
L max (drenaje)	573,50	574,00	L max (drenaje)	490,50	491,00	L max (drenaje)	152,00	152,00
Lv (m)	10,00	10,00	Lv (m)	10,00	10,00	Lv (m)	10,00	10,00

CURVA 10		
DATOS	VALOR REDONDEADO	
TIPO DE CURVA	CONCAVA	
VCV	20,00	20,00
m	-7,94	-8,00
n	-3,73	-4,00
A	4,21	4,00
DP	20,00	20,00
Kmin	0,61	1,00
Lmin (seguridad)	2,56	3,00
Lmin (operación)	12,00	12,00
L max (drenaje)	210,50	211,00
Lv (m)	10,00	10,00

Fuente: Elaborada por los autores (2018)

Mediante el uso del software los autores pueden dibujar las curvas sobre el alineamiento vertical y determinar las coordenadas y las abscisas de los diferentes elementos de cada curva como el punto inicial (PCV), punto final (PTV) y el punto de inflexión (PVI). Donde estos valores de entrada con ayuda del Manual, permiten calcular las cotas tangente y rasante de las abscisas metro a metro de la longitud total de curvatura, como se muestra en la tabla 38:

Tabla 38: Cotas cada metro de curva vertical 1

CURVA 1						
Elementos						
Abscisa PIV	311,51					
Cota PIV	1177,00					
m	12,84	0,13				
n	17,01	0,17				
LV	10,00					
s	10,00					
Sentido	concava					
Elementos						
Abs PCV	306,51					
Abs PTV	316,51					
Cota PCV	1176,36					
Cota PTV	1177,85					
A	4,17	0,04				
E	0,05					
ESTACION	ABSCISA	DIST	COTA TANGENTE	X	Y	COTA RASANTE
PCV	306,51	0,00	1176,36	0,00	0,00	1176,36
D	307,00	0,49	1176,42	0,49	0,00	1176,42
D	308,00	1,49	1176,55	1,49	0,00	1176,56
D	309,00	2,49	1176,68	2,49	0,01	1176,69
D	310,00	3,49	1176,81	3,49	0,03	1176,83
D	311,00	4,49	1176,94	4,49	0,04	1176,98
PIV	311,51	5,00	1177,00	5,00	0,05	1177,05
PIV	311,51	0,00	1177,00	5,00	0,05	1177,05
D	312,00	0,49	1177,08	4,51	0,04	1177,13
D	313,00	1,49	1177,25	3,51	0,03	1177,28
D	314,00	2,49	1177,42	2,51	0,01	1177,44
D	315,00	3,49	1177,59	1,51	0,00	1177,60
D	316,00	4,49	1177,76	0,51	0,00	1177,76
PTV	316,51	5,00	1177,85	0,00	0,00	1177,85

Fuente: Elaborado por los autores (2018)

Finalmente, es posible asegurar el cálculo de los elementos de la curva con la representación gráfica del elemento por medio de CivilCAD 3D y verificar el abscisado del mismo, como se muestra en la figura 28.

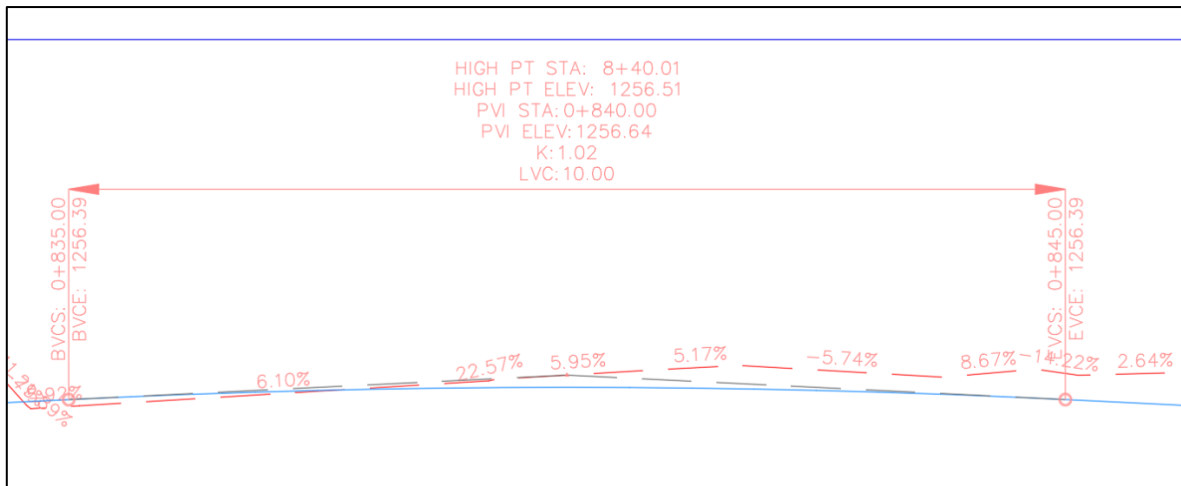


Figura 28. Curva vertical 8
Fuente: Elaborada por los autores (2018).

6.3. ESTRUCTURA DE PLACA HUELLA

Según la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella emitida por el INVIAS (2017), la estructura de placa huella es la superficie que soportará los esfuerzos generados por los vehículos que darán uso a la vía, la transmitirá a la subbase y luego al suelo presente en el terreno. Estructuralmente existen varios diseños ya estudiados que permiten un buen comportamiento en las vías terciarias y cada una depende de las dimensiones disponibles para trabajar.

Esta estructura se compone de unas losas de concreto simple que soportan las ruedas de los vehículos, separadas por una franja de concreto ciclópeo que se hace necesario para disminuir costos de construcción al utilizar el agregado pétreo presente en la zona. A lo largo de la sección transversal, también se contempla las obras de drenaje que eviten el estancamiento del agua y genere fisuras en la placa, las cuales tienen la particularidad de ser reforzadas para que permita una rodadura mínima de los automóviles en caso de encontrarse uno con otro en sentido contrario y sea necesario despejarle la vía para uno de los dos.

6.3.1. Características de los materiales

En relación al proceso constructivo de la estructura de la superficie de rodadura se hace necesario especificar las características más generales de los materiales precisos para la instalación sobre el terreno de una Placa-huella.

- **Subbase**

Es la capa sobre la cual se soportan los elementos estructurales que integran la Placa-huella, como lo son: las franjas de concreto reforzado, el concreto ciclópeo, las cunetas y los bordillos. Para un funcionamiento correcto, la Guía de diseño de pavimentos con placa huella sugiere utilizar una subbase B200 compactado al 95% con un espesor de 0.15 metros, sobre una superficie que presente un CBR mínimo de 3%. En los casos donde no se cumpla este parámetro es necesario realizar la consulta a un profesional para la estabilización del suelo.

En este caso el valor de CBR a lo largo del terreno es mayor al 3%, exceptuando unos puntos como se expone en el Anexo 8, donde se sugiere realizar más sondeos para obtener una mejor caracterización del suelo y determinar si cumple con la resistencia necesaria o requiere estabilizarlo. Para este caso en particular se sugiere el uso de un geotextil impermeable no tejido, bajo una capa de 30 cm de material arcilloso para eliminar la susceptibilidad del agua sobre el suelo arcilloso.

- **Concreto**

En el caso del concreto, con aras de velar por la durabilidad en el tiempo de la estructura expuesta a cambios de clima y el impacto directo de las ruedas de los vehículos, se requiere el uso de una mezcla cuya resistencia supere los 210 kg/cm² o 21 MPa. De acuerdo con lo estipulado por la guía, se debe asegurar la resistencia de la mezcla durante la instalación y luego de su fragüe, tanto en el concreto ciclópeo como en la misma placa.

El concreto ciclópeo debe ser instalado teniendo en cuenta que el porcentaje de roca debe ser del 40% o menor y el de concreto simple 60% o mayor. Para el agregado ciclópeo se sugiere el aprovechamiento de la piedra presente en la zona del proyecto, la cual debe ser seleccionada por una forma angulosa y tamaños entre 0.08 y 0.12 metros. Por último, las franjas de concreto que soportan las ruedas de los vehículos que transitan por la vía, debe ser concreto con refuerzos en acero para evitar su rápido deterioro y su instalación, dimensión y separación de estos refuerzos y de lo demás expuesto anteriormente se encuentra detalladamente explicado en la guía de diseño de pavimentos con placa-huella.

El espesor de la capa superior o resistente debe ser de 0.15 metros en todas las franjas ya sean concreto ciclópeo o concreto simple.

6.3.2. Dimensiones de la estructura

En el presente proyecto se propone el uso de la superficie de rodadura con placa-huella tipo 2 en el caso #2 (figura 29) que expone la Guía de Mejoramiento de Vías Terciarias mediante el uso de Placa-huella, ya que esta sugiere dos carriles con dimensiones que se ajustan al ancho entre paramentos encontrado en la mayoría de la vía existente. De esta manera, se facilita la circulación de vehículos en las dos direcciones evitando congestión y reduciendo costos que se darían por la compra de una alta cantidad de terreno necesario para la construcción de la calzada.

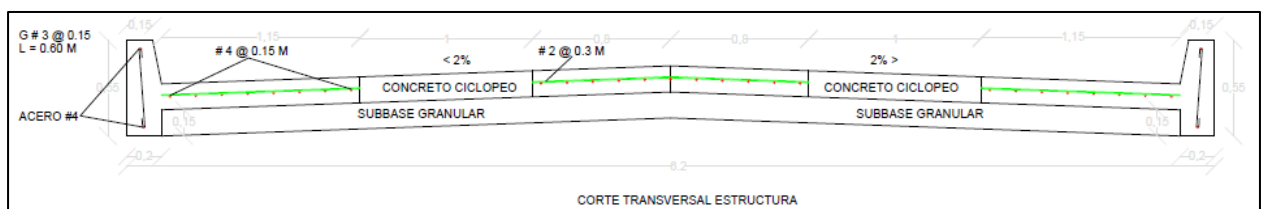


Figura 29: Distribución de los espesores y anchos de los elementos estructurales de la Placa-huella
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella (2017)

Esta sección transversal propuesta consta de tres franjas de concreto reforzado, dos de 0.90 metros contigua a los bordillos, y una central con un ancho de 1.6 metros, separadas por dos rieles de concreto ciclópeo de un metro. Dentro de la distribución de la sección, se contempla el uso de unos bordillos tipo A15 con dimensiones 0.56 metros de alto por 0.15 metros de ancho como se expone en la figura (30), el cual permitirá encausar las aguas lluvias hacia los sumideros.

Finalmente, se resalta que la distribución de la estructura de Placa-huella para el proceso constructivo en las curvas horizontales, varía de acuerdo al valor del sobreancho y al ángulo de deflexión presente en la curvatura, de tal forma que se muestran una sección tipo de cómo va la distribución de los elementos de la estructura y se aclara que los diferentes tipos se encuentran categorizados en la Guía.

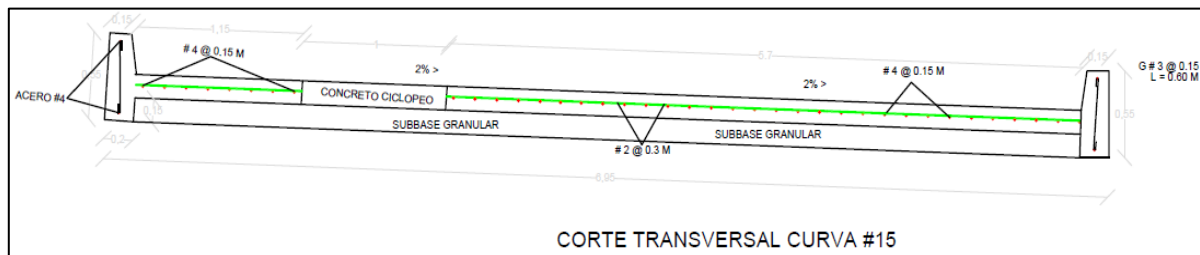


Figura 30: Sección transversal en curva de 45° a 90° y sobreancho de 1.35m
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella (2017).

6.3.3. Concreto reforzado

Las franjas que soportan los esfuerzos generados por los vehículos que transitarán la calzada, los bordillos y riostras (sentido longitudinal) deben estar construidas en concreto reforzado (especificaciones expuestas en la sección anterior), esto para evitar el deterioro prematuro de la superficie y disminución de inversión por cuenta de futuras reparaciones. En las figuras (31 – 35) se muestra el tamaño y la distribución de los aceros tanto en sentido transversal como longitudinal. Dicha distribución se encuentra de manera detalla en la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-Huella emitido por el INVIAS.

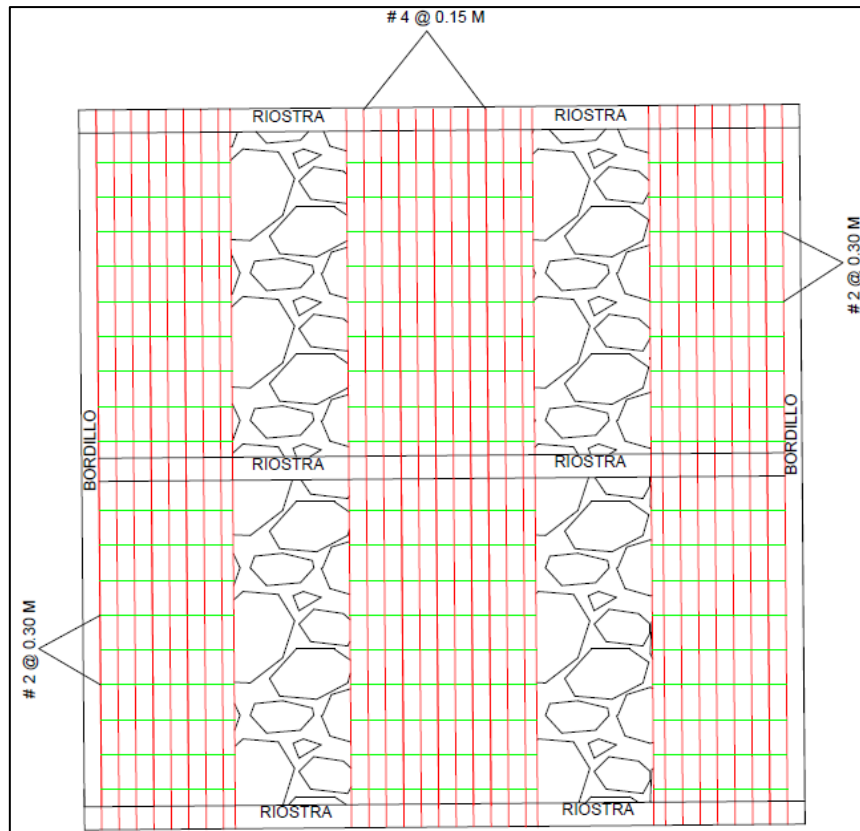


Figura 31: Sección de placa huella y Riostra vista en planta.
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella (2017).

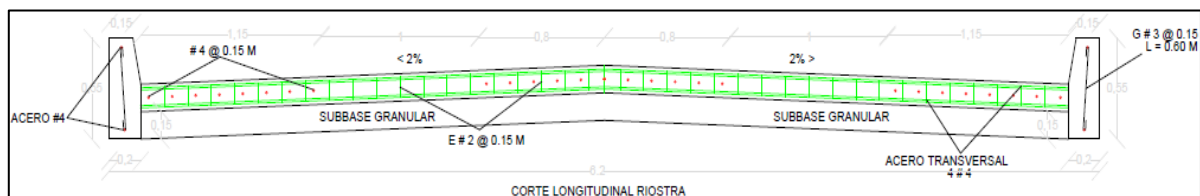


Figura 32: Distribución de aceros sentido transversal riostra.
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella (2017).

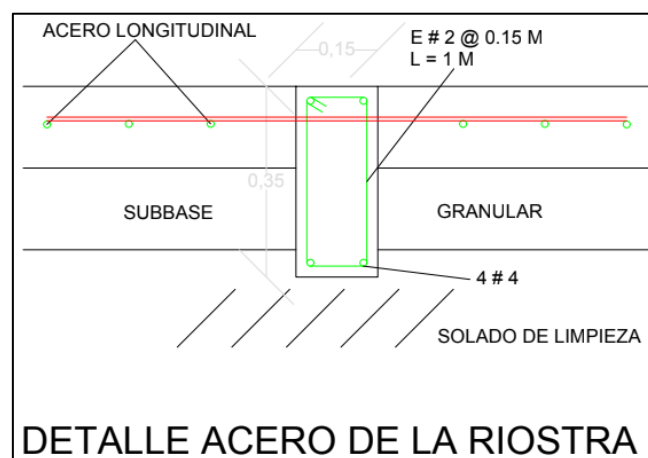


Figura 33: Acero de la riostra.
Fuente Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella (2017).

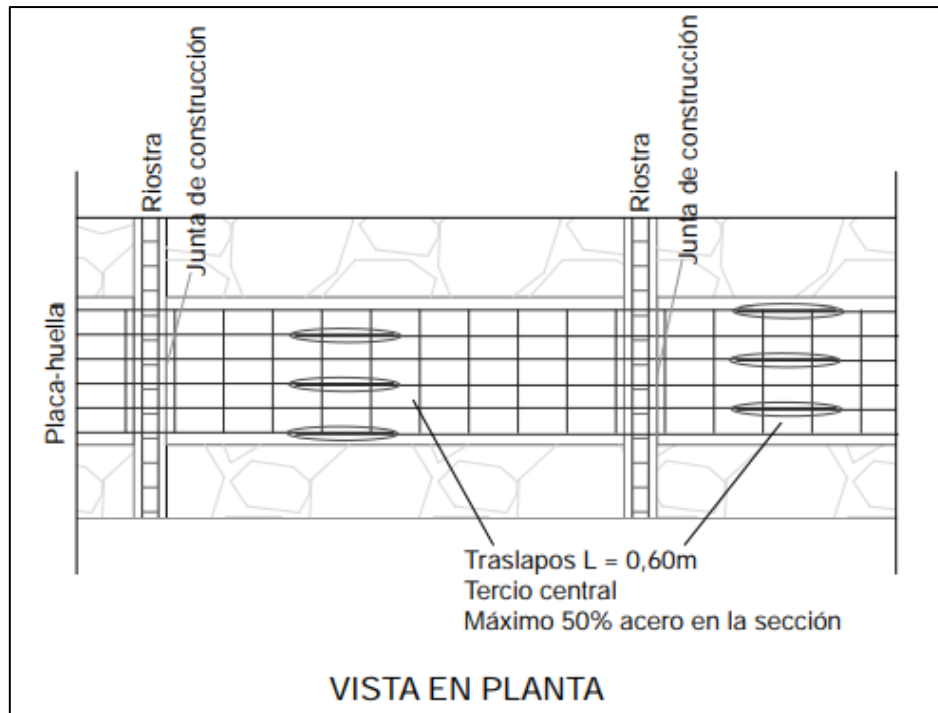


Figura 34: Distribución y empalmes sentido longitudinal.
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella (2017).

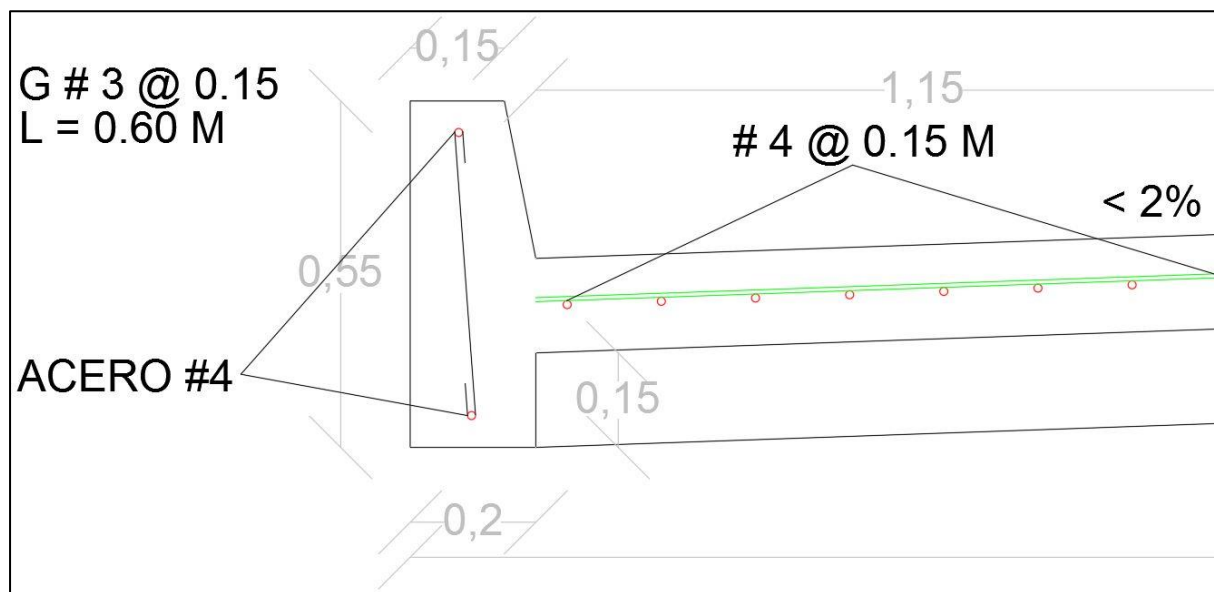


Figura 35: estribos del bordillo.
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella (2017).

7. SEÑALIZACIÓN E ILUMINACIÓN PÚBLICA

Se hace estrictamente necesario mantener una velocidad promedio a lo largo de la vía de 20 km/h, esto se debe a que las altas pendientes, la carencia de una buena longitud de entre tangencia y la tramos cortos de curvas, impiden que los elementos se puedan desarrollar correctamente dentro del alineamiento y por ende, no facilitan la transición cómoda entre las curvas. Para el manejo de este criterio a lo largo de la vía, se presenta a continuación un sistema de regulación del tránsito que permita mantener el nivel de servicio en la misma y a su vez, una configuración de puntos de iluminación que resuelva los requerimientos del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público.

7.1. SEÑALIZACIÓN Y REGULACIÓN DEL TRÁNSITO

En este capítulo se realiza la distribución espacial y selección de los dispositivos encargados de la regulación del tránsito en la vía, según el Manual de Señalización Vial de 2015, haciendo uso de señalizaciones verticales reglamentarias y preventivas, segregadores y limitadores de flujo y resaltos, los cuales se presentan en el plano de Señalización e Iluminación pública anexado.

7.1.1. Señalización vertical

Las señalizaciones verticales según el Manual de Señalización Vial “cumplen la función de reglamentar las limitaciones, prohibiciones o restricciones, advertir peligros, informar acerca de rutas, direcciones, destinos y sitios de interés” (Ministerio de Transporte, 2015). Estas señalizaciones deben transmitir un mensaje inequívoco y deben ubicarse justo donde puedan ser visibles por todos los usuarios y cumplan la función de advertir la acción siguiente.

A continuación se presentan las características generales de las señalizaciones usadas en el sistema de regulación del tránsito:

- **Velocidad máxima**

Señal reglamentaria para indicar al usuario la velocidad máxima a la que puede circular a partir del lugar donde esté instalada. Esta señal debe estar ubicada en el costado derecho en las abscisas K0+052m y K0+685m en dirección oeste y en las abscisas K0+968m y K0+125m en dirección este, ya que en esta zona es posible desarrollar una velocidad mayor a causa de la pendiente y tramos rectos de más de 80m, por tanto es necesario indicar una velocidad máxima de 20 km/h con las siguientes dimensiones:

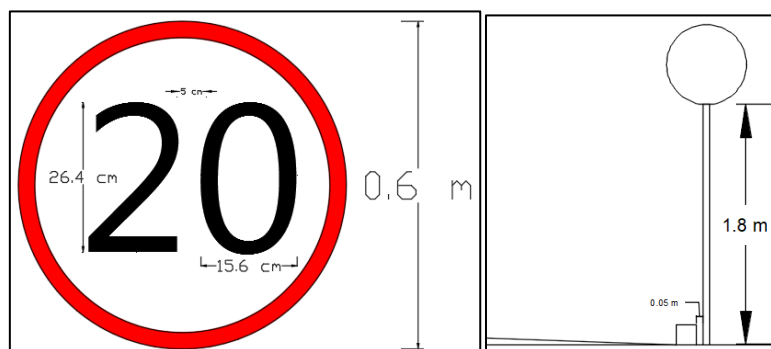


Figura 36: Características señalización velocidad máxima
Fuente: Tomado del Manual de Señalización vial (2015)

- **Curva y contracurva**

Señal preventiva para advertir al conductor la cercanía de dos curvas seguidas en sentido contrario, cuando una de ellas representa peligro al maniobrar. Esta señal debe estar ubicada en la abscisa K0+543m en dirección oeste y en la abscisa K0+582m en dirección contraria, con las siguientes dimensiones:

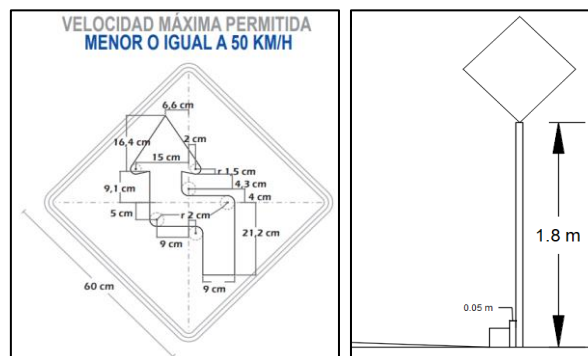


Figura 37: Características señalización curva y contracurva
Fuente: Tomado del Manual de Señalización Vial (2015)

- **Curva pronunciada**

Señalización preventiva que indica al conductor la proximidad a una curva que posee una velocidad de diseño menor a la velocidad de operación del resto de la vía. Esta señal debe estar ubicada en las abscisas K0+ 347m y K0+640m en dirección oeste y en las abscisas K0+368m y K0+665m en dirección contraria, con las siguientes características:

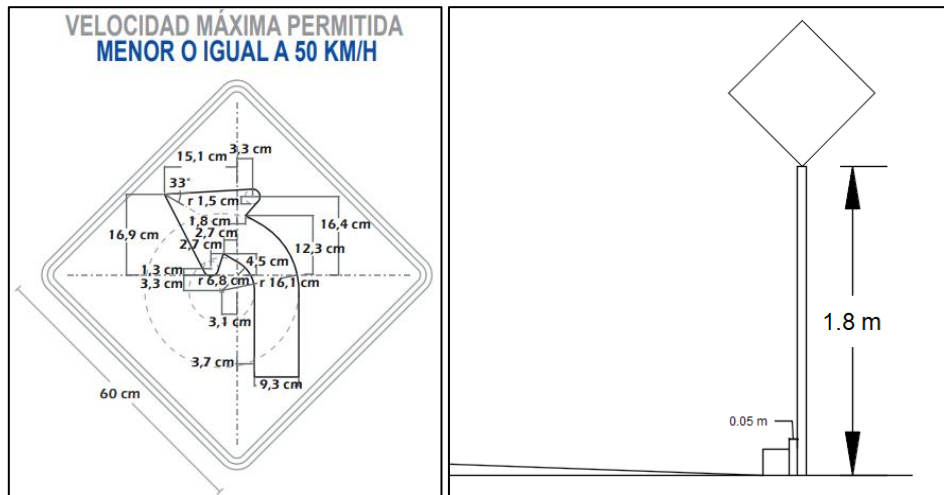


Figura 38: Características señalización curva pronunciada
Fuente: Tomado del Manual de Señalización Vial (2015)

- **Pendiente fuerte de descenso**

Señalización preventiva para indicar al conductor la proximidad de una pendiente fuerte en descenso o ascenso. Esta señal debe estar ubicada en las abscisas K0+820m en dirección oeste y K0+860m en dirección contraria, con las siguientes características:

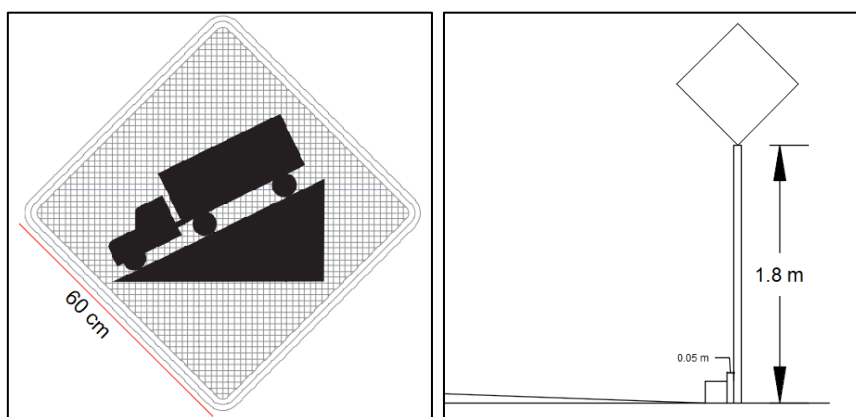


Figura 39: Características señalización pendiente fuerte de descenso
Fuente: Tomada del Manual de Señalización Vial (2015)

7.1.2. Resalto portátil

Son dispositivos elaborados de un material sintético de bajo peso y alta resistencia al impacto y la fricción de las llantas de los vehículos al pasar sobre él, son usados para reducir la velocidad de marcha en la vía. Estos elementos deben estar ubicados en las abscisas K0+135m, K0+200m, K0+585m y K0+860m en dirección este. Además, para advertir al conductor del resalto se instalarán 54 estoperoles hasta 3 metros antes de entrar al resalto como se observa en la figura 40.

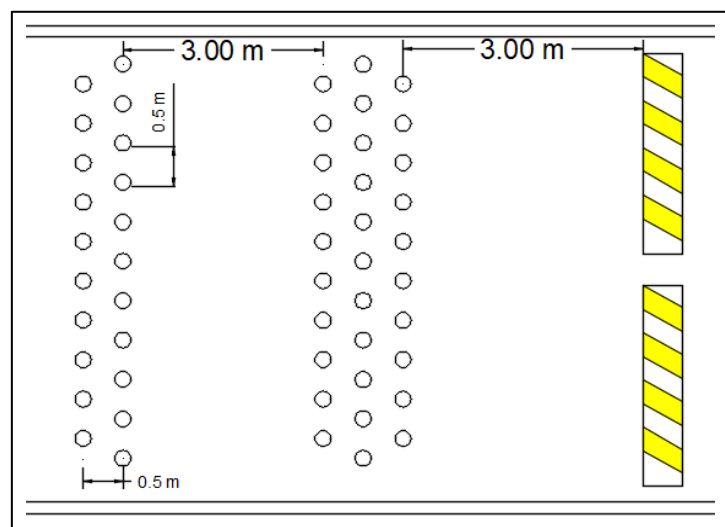


Figura 40: Estoperoles y resaltos en la vía
Fuente: Elaborada por los autores (2019)

De igual forma se muestran las características de los elementos según el Manual:

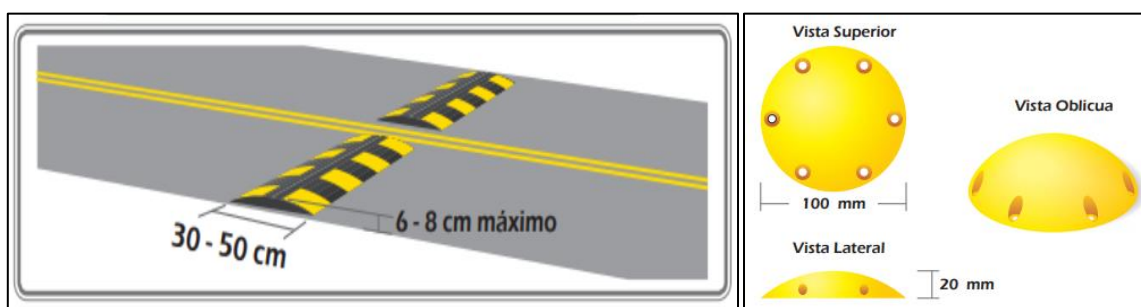


Figura 41: Características de los resaltos y estoperoles
Fuente: Tomado del Manual de Señalización Vial (2015)

Cada uno de los elementos mencionados se encuentra plasmado sobre la silueta del alineamiento horizontal en un plano anexo de diseño vial.

7.2. ILUMINACIÓN DE LA VÍA

Corresponde a un criterio de seguridad que les permite a los usuarios de la vía evitar un obstáculo cualquiera sobre la vía durante la noche. Esta iluminación según el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, “debe permitir, en particular, ver a tiempo los bordes, las aceras, separadores, encrucijadas, señalización visual y en general toda la geometría de la vía” (RETILAP, 2010).

Teniendo en cuentas lo mencionado anteriormente, a continuación se presentan las características de la configuración de puntos de iluminación y se anexa un plano de la ubicación de estos sobre la vía, tomado como referencia las recomendación contempladas por el Reglamento.

- **Características**

Ciñéndose a lo estipulado por el Reglamento, las luminarias para una vía están categorizadas por el tipo de superficie (R), la descripción y la velocidad de circulación, tal que para este caso en particular se tiene una clase de iluminación tipo M5 según la tabla 39, a que el parámetro de la velocidad reducida y el volumen de tránsito son los más cercanos.

Tabla 39: Clases de iluminación según RETILAP

Clase de iluminación	Descripción vía	Velocidad de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos T (Veh/h)	
M1	Autopistas y carreteras	Extra alta	V>80	Muy importante	T>1000
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas.	Alta	60<V<80	Importante	500<T<1000
M3	Vías principales y ejes viales.	Media	30<V<60	Media	250<T<500
M4	Vías primarias o colectoras	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
M5	Vías secundarias	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T<100

Fuente: Tomado del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (2010)

Una vez determinada la clase de iluminación, el Reglamento imparte los criterios mínimos que debe cumplir el alumbrado de acuerdo al tipo de superficie (R), para este caso en particular de tipo R3.

Tabla 40: Clasificación de la superficie según RETILAP

Clase	Características Superficie
R1	Superficies de asfalto con un mínimo del 15 % de materiales abrillantadores o materiales artificiales claros o al menos un 30 % de anortositas muy brillantes. Superficies que contienen gravas que cubren más del 80% de la superficie de la calzada, y las gravas constan de gran cantidad de material claro, o de abrilladores o están compuestas al 100% de anortositas muy brillantes. Superficies de calzada de hormigón de concreto.
R2	Superficies con textura rugosa que contienen agregados normales Superficies asfálticas (pavimentos bituminosos que contienen el 10% al 15% de abrilladores artificiales. Hormigón bituminoso grueso y rugoso, rico en gravas (más del 60%) de tamaños mayores a 10 mm Asfalto mástico después de ser tratado. Se conoce también como asfalto mástico en estado nuevo.
R3	Revestimiento en Hormigón bituminoso (asfalto frío, asfalto cemento) con tamaño de grava superior a 10 mm, con textura rugosa Superficies tratadas con textura rugosa pero pulimentada.
R4	Asfalto mástico después de varios meses de uso Superficies con textura bastante suave o pulimentada.

Fuente: Tomado del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (2015)

En primera instancia las luminarias deben tener un valor promedio de iluminancia sobre la superficie de la vía de 9 Luxes y una luminancia percibida de 0.6 cd/m² (candela por metro cuadrado) por el ojo humano a partir del reflejo de la superficie. Además, una relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio (U_o) sobre la superficie de 0.4, como se muestra en la tabla 45.

Tabla 41: Características de luminancia e iluminación del alumbrado

Clase de iluminación	Valor promedio (mínimo mantenido) de iluminancia según tipo de superficie de la vía [Luxes]		
	R1	R2 y R3	R4
M3	12	17	15
M4	8	12	10
M5	6	9	8

CLASES DE ILUMINACIÓN	TODAS LAS VÍAS	
	Luminancia promedio Lprom (cd/m2) Mínimo mantenido	Factor de uniformidad Uo Mínimo
M1	2,0	0,4
M2	1,5	0,4
M3	1,2	0,4
M4	0,8	0,4
M5	0,6	0,4

Fuente: Tomado del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (2015)

Finalmente, la configuración de luminarias de 6 metros de alto sobre el trazado de la vía debe tener una separación de 24 metros entre los postes de luz, ubicados en ambos costados de la vía de forma alternada, como se muestra en la figura 42.

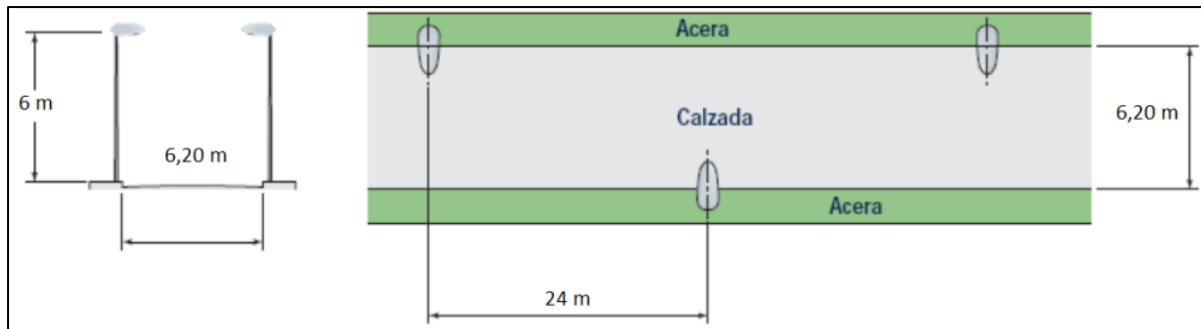


Figura 42: Distribución de luminarias sobre la vía
Fuente: Tomado y adaptado del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (2015)

8. RECOMENDACIONES

Antes de concluir la ejecución del proyecto se hace estrictamente necesario dejar planteadas unas recomendaciones que permitan darle claridad y resolución a ciertos parámetros que no fueron tomados en cuenta en la alternativa seleccionada, cada una de estas recomendaciones complementa al resultado final y no modifica en cantidad a los diseños planteados.

Inicialmente, es prioridad efectuar un estudio adicional en cuanto a la canalización y conducción del afluente en la abscisa K0+600m, donde las temporadas de lluvia pueden hacer que este cauce se rebase y circule sobre la placa-huella, generando afectaciones en la superficie de rodadura. Se sugiere realizar el diseño de un Box Culvert que permita encausar la corriente bajo el trazado de la vía. Teniendo en cuenta que la sección transversal del total de la placa-huella es de 6.2 metros y el ancho del cauce de 2 metros aproximadamente en temporada de lluvias. Estas dimensiones se toman de acuerdo al ancho mojado máximo y la desembocadura luego de pasar sobre el terreno.

En segunda instancia, se sugiere un estudio geotécnico complementario en las zonas de la silueta de la vía en donde la capacidad de soporte del suelo es menor al 3%, en el cual se determine con mayor precisión el método de estabilización del suelo o el aumento de las dimensiones de la subbase y la placa-huella. Para este caso en particular se sugiere la instalación de un geotextil impermeable con el fin de impedir la penetración del nivel freático en el material arcilloso, evitando el aumento la plasticidad y mejorando las propiedades mecánicas del suelo y permitiendo realizar una mejor distribución de las cargas dadas por la circulación de los vehículos.

Adicionalmente, se hace necesario generar un estudio hidrológico para la zona de estudio, donde se evalué las condiciones climáticas con el fin de realizar un adecuado diseño de las obras hidráulicas ya sean cunetas, sumideros o alcantarillados necesarias para la correcta recolección y disposición de las aguas lluvias y de escorrentía que puedan llegar a la superficie de la vía y afectar la estructura de placa-huella. A partir del resultado del diseño en perfil se obtuvieron pendientes entre el 2.3% y el 19 %, que favorecen el escurrimiento, por lo cual es posible el uso de la cuneta tipo estipulada en la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-Huella en la sección 5.3 para la recolección de aguas presentes en la superficie de la vía. También es necesario realizar una apropiada ubicación de los aliviaderos a lo largo de la vía, con el fin de evitar el rebosamiento de las cuentas y la afectación a las condiciones de seguridad de la calzada. En el plano diseño vial se sugiere la ubicación de dichos aliviaderos con base en el diseño geométrico de la vía. Ubicación que se puede ver modificada por la obtenida en los resultados del estudio hidrológico recomendado.

8. CONCLUSIONES

En el desarrollo inicial del trabajo que se basó en el diagnóstico de la vía existente por medio del registro fotográfico, se comprobó que el 8% de la estructura de la calzada en el primer kilómetro muestra patologías indiscutibles en la superficie de rodadura. Estas patologías se hacen evidentes en fallas, hundimientos, baches, grietas de borde, ondulaciones y parches en la carpeta asfáltica, las cuales se traducen en un nivel de servicio bajo en cuanto a la percepción de los usuarios de la vía. Por otro lado, el aforo vehicular realizado por la concesionaria DEVISAB muestra un tránsito promedio diario de 487.6 vehículos mixtos/día, clasificado según el Instituto Nacional de Vías como un tránsito medio.

Durante la ejecución de la observación preliminar se evidencia que el porcentaje mayor de tránsito es el de motocicletas (49.58%), seguido de automóviles livianos (34.81%) y buses pequeños (6.20%), lo que permite entender que las afectaciones a la carpeta asfáltica y estructura del pavimento no son producto de sobrecargas y fatigas en la vía, sino por el contrario causado por fenómenos naturales o la agricultura que sube el nivel freático, satura el suelo y provoca inestabilidad de los taludes.

En cuanto a la caracterización del terreno por medio del trabajo de campo se recopiló una nube de 1131 puntos que incluyen puntos de terreno, borde de vía existente, eje, cuneta, entradas, cerca viva, cerramiento, árboles y postes cercanos a la silueta, con la limitante de que solo se tomaron lecturas en los puntos de terreno de la silueta y no fue posible tomar mediciones al interior de los predios privados aledaños, por lo cual el diseño geométrico de los elementos de la vía sobre la superficie de curvas de nivel creada se ve restringida por la falta de información en cuanto al levantamiento topográfico.

Por otro lado, los estudios ejecutados sobre la subrasante muestran una capacidad de soporte aceptable para lo exigido por la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella, donde a lo largo de la vía la correlación DCP solo presentan 5 puntos críticos que no cumplen con el

CBR igual o mayor al 3%, mientras los ensayos realizados sobre las muestras extraídas en campo dan un valor superior del 3%. Estos análisis no pueden ser comparados con exactitud, ya que para la correlación DCP se realizaron 22 penetraciones en campo alternando el borde a lo largo de toda la vía, mientras para los ensayos CBR solo se pudieron extraer 2 muestras completas en las abscisas K0+020m y K0+350m por la presencia de grava que impedían hincar a una mayor profundidad el molde. En el mapa de zonificación se evidencian los puntos donde se tomaron las muestras y en el anexo se muestran los resultados por profundidad y por abscisa.

Finalmente, se presenta la alternativa vial ajustada a la silueta existente en el terreno con una longitud total de 984,786 metros, el diseño de 25 curvas circulares horizontales y 10 curvas simples verticales. Este diseño se realizó ceñidos a la normativa impuesta por el Instituto Nacional de Vías en su Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella, donde la selección de los parámetros de radios de curvatura, entre tangencia y desarrollo de los peraltes y sobreeanchos, se hizo en base a los diseños tipo planteados por la Guía y las condiciones que el terreno podía brindar al proyecto. Esto se da por la ausencia de una longitud necesaria para el correcto desarrollo de los elementos del alineamiento como lo indica el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras y la falta de criterios de evaluación del Manual para superficies de rodadura rígida.

9. REFERENCIAS

- Agudelo Ospina, Jhon Jairo (2002). Diseño geométrico de vías (Tesis de especialización). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- ANI- Agencia Nacional de Infraestructura (s.f). Contratos de concesión. Tomado de https://www.contratos.gov.co/consultas/VerDocumentoPublic?ruta=/cloud/cloud2/2015/DA/124001001/15-20-448/DA_PROCESO_15-20-448_124001001_15503273.pdf
- Arellano Murcia, Diego Fernando (2015). Rehabilitación de vías terciarias con el sistema de placa-huella (Tesis de Especialización). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Cárdenas Grisales, James (2002). Diseño geométrico de vías. Universidad del Valle. Ecoe ediciones. 2ª edición.
- Casanova, Leonardo (2002). Topografía plana. Mérida.
- Chen Liu (2004). Soils and Foundations Pearson/Prentice Hall, Estados Unidos.
- Crespo Villalaz, Carlos (2010). Vías de comunicación: Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos (Vol.4). México: Limusa.
- Contreras Félix & Muñoz Juan (2015). Diseño y construcción de Placa-Huella (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Decreto 2618 de 2013 (2013). Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=13029>
- Decreto 4401 de 2017 (2017), Por el cual se adopta la guía de diseño de pavimentos con placa-huella.
- DNP, Departamento Nacional de Planeación (2016), Proyecto Tipo para el Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa-huella.
- Gobernación de Cundinamarca (2015), Análisis de Situación de Salud con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud. Recuperado de:

<http://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/07f0fd4e-9af4-4dc6-921a-28bed95a7c17/ASIS+Cundinamarca+2015+WEB.pdf?MOD=AJPERES&CVID=llg82jv>

- González Carlos, Vargas Wilson & Rincón Mario (2011). Localización de carreteras. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Google. (s.f). [Mapa de los corredores viales del Municipio de Tena y La Mesa, Colombia en Google Maps]. Recuperado el 25 de Enero, 2018, de: <https://www.google.com.ar/maps/place/Tena,+Cundinamarca/@4.6732858,-74.4345305,14.25z/data=!4m5!3m4!1s0x8e3f71c240ff26fd:0x4af5ccfafc3b7e0!8m2!3d4.655623!4d-74.389576>
- I. Osorio, “Reseña histórica de las vías en Colombia”. Ingeniería Solidaria, vol. 10, n.º 17, pp. 183-187, en.-dic., 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v10i17.880>
- INVIAS Instituto Nacional de Vías (2008), Manual de diseño de pavimentos en concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.
- INVIAS Instituto Nacional de Vías (2008), Manual de diseño geométrico de vías.
- INVIAS Instituto Nacional de Vías (2011). Manual de Drenaje para Carreteras.
- INVIAS Instituto Nacional de Vías (2017), Especificaciones generales de construcción de carreteras y Normas de ensayos para materiales de carreteras.
- INVIAS Instituto Nacional de Vías (2017), Guía de diseño de pavimentos con placa-huella.
- Jiménez, Édgar (2007). Curvas circulares simples. Recuperado de <https://doblevia.wordpress.com/2007/03/19/curvas-circulares-simples/>
- Ley 1682 de 2013 (2013), Por el cual se adoptan medidas y disposiciones para los proyectos de infraestructura de transporte y se conceden facultades extraordinarias.

- MINISTERIO DE MINAS (2010), Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. Recuperado de :
https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23931303/RES180540_2010.pdf/a8e7e904-dc75-41a3-be82-9b990dd6ddb6
- MINISTERIO DE TRANSPORTE (2015), Manual de Señalización Vial
“Dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en las calles, carreteras y ciclorutas de Colombia.
- Montejo Fonseca, Alfonso (1998). Ingeniería de pavimentos para carreteras. Universidad Católica de Colombia. 2da Edición.
- Morales Camacho, Pablo Manuel (2008). Construcción y conservación de vías. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá.
- Sánchez Sabogal, Fernando (2009). Curso básico de Diseño de Pavimentos. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.
- Sierra Bolaño, Yulani Mariet (2009). Diseño de pavimentos en la carrera 46, entre calles 75 y 77 sur, Sabaneta. (Tesis de especialización). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Silva, Sergio (2013). Un monstruo a gasolina. El Espectador. Recuperado de
<https://www.elespectador.com/vivir/autos/un-monstruo-gasolina-articulo-429405>
- Tibaduiza, Oscar (2015). Apiques. Recuperado de
<https://es.slideshare.net/oscarjaviertibaduiza21/apique>
- Wolf Paul, Brinker Russell (2006). Topografía. México. Alfaomega.
- Wright, P. H., & Dixon, K. (2010). Ingeniería de carreteras (Vol. 2). México: Limusa Wiley.
- Zea José, Ortiz Gustavo, & Zamudio Pablo (2009). Diagnóstico de la vía actual y propuesta de diseño geométrico del tramo comprendido entre el K0+000 hasta el

K3+000 de la vía Municipio de Tena – Los Alpes (Tesis de pregrado). Universidad de
La Salle, Bogotá

