

ESTUDIOS TÉCNICOS PARA PROYECTO DE PAVIMENTACIÓN VÍA ACCESO A
SAN BERNARDINO - POPAYAN



PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL MODALIDAD TRABAJO SOCIAL

ANDRES DAVID NOGUERA INSUASTY
COD: 100414020547
JESICA PATRICIA NOGUERA CATUCHE
COD: 100413010547

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN
2019

ESTUDIOS TÉCNICOS PARA PROYECTO DE PAVIMENTACIÓN VÍA ACCESO A
SAN BERNARDINO - POPAYAN



PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL MODALIDAD TRABAJO SOCIAL

ANDRES DAVID NOGUERA INSUASTY
COD: 100414020547
JESICA PATRICIA NOGUERA CATUCHE
COD: 100413010547

DIRECTOR

ALEXANDRA ROSAS PALOMINO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN
2019

Nota De Aceptación

El director y el jurado han evaluado este documento, y han escuchado la sustentación realizada y lo encuentran satisfactorio, por lo cual autorizan al estudiante para que desarrolle las gestiones correspondientes para optar por el título de ingeniero civil.

Firma del Jurado.

Firma del Director.

Agradecimientos

Jesica Patricia Noguera Catuche

Agradezco a Dios por ser la luz incondicional en mi camino. A mi madre Deiry Noguera, a mis hermanos Laura Noguera y Milton Noguera, a cada uno de ellos por ser los pilares fundamentales en mi vida, por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo en cada uno de los momentos de mi carrera, por su amor, comprensión y motivación en mis momentos de debilidad que hicieron de mí una mejor persona llena de sueños y metas por cumplir.

Andres David Noguera Insuasty

Doy Gracias a Dios por ser la guía permanente para lograr mis metas. A Todos los miembros de mi familia; en especial a mi madre Marta Insuasty, a mis hermanas; Violeta Noguera y Margarita Noguera, a mis tíos Ider noguera y patricia Noguera quienes han sido un soporte en los momentos de dificultad a lo largo de mi carrera y me han ayudado a sobreponerme, para lograr los objetivos propuestos.

A nuestros amigos y compañeros presentes durante los procesos de formación, por cada uno de los momentos compartidos, por habernos permitido aprender y disfrutar de uno de ellos.

Nuestra profunda gratitud a los docentes de la Universidad del Cauca por los conocimientos y experiencias que nos brindaron durante el desarrollo de nuestra carrera, a ustedes nuestros más sinceros agradecimientos por hacer de nosotros profesionales éticos y responsables. Agradecemos a nuestra directora de trabajo de grado Ing. Alexandra Rosas Palomino quien con su experiencia, conocimiento nos orientó en el desarrollo del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. JUSTIFICACIÓN.....	13
3. ALCANCE DEL PROYECTO.....	14
4. OBJETIVOS.....	15
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
5. GENERALIDADES.....	16
5.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	16
5.2. COMUNIDAD RECEPTORA.....	19
5.3. NORMATIVA DE MODALIDAD SOCIAL DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA.....	21
6. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.....	23
6.1. METODOLOGIA.....	23
6.2. RECURSOS.....	25
6.2.1. Logística.....	25
6.2.2. Recurso humano.....	25
6.2.3. Recurso técnico.....	25
6.2.4. Equipo de oficina.....	27
6.3. TRABAJO DE CAMPO.....	27
6.3.1. Preliminares.....	27
6.3.2. Trabajo de campo.....	27
6.3.3. Poligonal de base.....	29
6.3.4. Toma de topografía.....	31
6.4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	32
6.4.1. Transferencia de datos.....	32
6.4.2. Procesamiento de datos.....	33
6.5. REALIZACIÓN DE PLANOS.....	35
6.6. RESULTADOS.....	35
7. ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	37
7.1. METODOLOGÍA.....	37
7.2. GENERALIDADES.....	39
7.2.1. Clasificación de los vehículos.....	39
7.2.2. Peso vehicular por eje.....	40
7.2.3. Eje patrón o daño unitario.....	42
7.2.4. Tránsito promedio diario - TPD.....	43
7.2.5. Periodo de diseño y vida útil.....	43
7.3. TRABAJO DE CAMPO.....	43
7.3.1. Variables medidas.....	43
7.3.2. Fechas de realización de conteo.....	44
7.4. TRABAJO DE OFICINA.....	45
7.5. CÁLCULO DEL TRÁNSITO POR EL MÉTODO PCA.....	45

8. ESTUDIO DE SUELOS.....	48
8.1. ESTUDIO GEOLÓGICO.....	48
8.1.1. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA A NIVEL REGIONAL	48
8.1.2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN	49
8.1.2.1. Geología.....	49
8.1.2.2. Sistema de fallas	52
8.1.2.3. Geomorfología.....	53
8.1.2.4. Geología económica.....	54
8.2. ESTUDIO DE SUELOS	55
8.2.1. Generalidades	55
8.2.2. Recopilación de Información y Muestreo.....	55
8.2.3. Perfil Estratigráfico de suelo	58
8.2.4. Registro Fotográfico De Apiques	59
8.2.5. Resultados.....	60
9. DISEÑO GEOMÉTRICO	62
9.1. GENERALIDADES.....	62
9.1.1. Clasificación de la Carretera.....	62
9.1.2. Tramo Homogéneo.....	62
9.1.3. Velocidad de diseño	62
9.1.4. Velocidad específica.....	62
9.1.5. Vehículo de diseño	63
9.2. GENERALIDADES DISEÑO EN PLANTA.....	63
9.2.1. Radio mínimo.....	63
9.2.2. Peralte máximo.....	64
9.2.3. Pendiente relativa de la rampa de peraltes	64
9.3. GENERALIDADES DISEÑO EN PERFIL.....	64
9.3.1. Pendientes longitudinales.....	64
9.3.2. Longitud mínima y máxima de tangente	65
9.3.3. Valores de K en curvas verticales.....	65
9.4. DISEÑO DE SECCIÓN TRANSVERSAL	66
9.4.1. Ancho de carriles y calzadas	66
9.4.2. Superficie de rodadura	66
9.4.3. Sobreancho en las curvas	66
9.5. METODOLOGÍA DE DISEÑO	67
9.6. DISEÑO EN PLANTA	67
9.7. DISEÑO EN PERFIL	68
9.8. CÁLCULO DE COORDENADAS PARA LOCALIZACIÓN.....	69
10. ESTUDIO HIDROLÓGICO	71
10.1. HIDROLOGÍA	71
10.2. HIDROLOGÍA DE LA VEREDA SAN BERNANDINO.....	74
10.3. PRECIPITACIÓN.....	75
10.4. PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS.....	76
10.5. PRECIPITACIÓN MENSUAL.....	78
10.6. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	79

10.7.	PERIODOS DE RETORNO	80
10.8.	CURVAS DE INTENSIDAD FRECUENCIA Y DURACIÓN - IDF	80
10.9.	HIDRÁULICA DEL DRENAJE SUPERFICIAL	82
10.9.1.	Cunetas	82
10.9.1.1.	Caudal de diseño	82
10.9.1.2.	Tipo de sección y seguridad vial	83
10.9.1.3.	Funcionamiento hidráulico	84
10.9.2.	Alcantarillas	91
10.9.3.	Sumideros	91
10.9.3.1.	Diseño de sumideros	92
10.9.3.2.	Localización de los sumideros	94
10.10.	OBRAS DE DRENAJE EXISTENTE	95
11.	DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO	97
11.1.	TIPO DE ESTRUCTURA	97
11.2.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	97
11.3.	CALIDAD DE LOS AGREGADOS	97
11.4.	DRENAJE	97
11.5.	DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA	98
11.5.1.	Subrasante	98
11.5.2.	Sub-base	98
11.5.3.	Capa de rodadura	99
11.6.	PARÁMETROS DE DISEÑO	99
11.6.1.	Determinación del CBR de diseño	100
11.7.	RESISTENCIA DE DISEÑO DEL CONCRETO	100
11.7.1.	Diseño de pavimentos de concreto hidráulico	100
11.7.2.	Procedimiento de diseño	101
11.8.	TRÁNSITO DE DISEÑO	102
11.9.	MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE MATERIALES	106
11.10.	DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO	108
11.10.1.	Módulo de reacción de la subrasante	108
11.10.2.	Módulo de reacción de la Sub Base	108
11.10.3.	Tipo de Juntas y Bermas	109
11.10.4.	Herramienta de Software para diseño de pavimentos rígidos	109
11.10.5.	Dimensionamiento de la Losa de Concreto	111
11.11.	SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE CARGA	114
11.12.	CANTIDADES DE OBRA DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	117
11.13.	RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCIÓN	119
12.	RECOMENDACIONES GENERALES Y CONCLUSIONES	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización Municipio de Popayán	16
Figura 2. Localización tramo a intervenir.....	17
Figura 3. Localización Carrera 17 Norte.....	18
Figura 4. Localización vereda San Bernardino (tramo a intervenir).....	18
Figura 5. Comunidad Vereda San Bernardino en charlas de capacitación	20
Figura 6. Comunidad Vereda San Bernardino en minga	20
Figura 7. Diagrama metodología levantamiento topografico	24
Figura 8. Estación total Nikon Nivo 2C	26
Figura 9. Ficha de mojones de referencia	28
Figura 10. Poligonal Base	29
Figura 11. Ficha de deltas de la poligonal de base	30
Figura 12. Toma de detalles con Estación Total	32
Figura 13. Portada Software TOPO3	33
Figura 14. Modelo Digital Terrestre	34
Figura 15. Curvas de nivel C/0.2 metros	34
Figura 16. Plano de lote en AutoCAD	35
Figura 17. Diagrama metodológico para conteo Vehicular.....	38
Figura 18. Representación esquemática de vehículos de transporte de carga.....	40
Figura 19. Tipos de eje y su carga máxima.....	42
Figura 20. Descripción geológica del Departamento del Cauca.....	49
Figura 21. Tramo vereda San Bernardino	56
Figura 22. Excavación con pala, Apique número uno	57
Figura 23. Extracción de la muestra inalterada	58
Figura 24. Perfil estratigráfico, Abscisa K0 + 060.....	58
Figura 25. Perfil estratigráfico, Abscisa K0 + 160.....	59
Figura 26. Excavación Abscisa k0+ 060.....	59
Figura 27. Excavación Abscisa k0+ 160.....	60
Figura 28. Vehículo de Diseño – Camión de tres ejes	63
Figura 29. Sección transversal.....	66
Figura 30. Portada software TOPO3.....	67
Figura 31. Diseño en planta	68
Figura 32. Diseño en perfil	69
Figura 33. Vereda San Bernardino	71
Figura 34. Cuenca del Rio Cauca	73
Figura 35. Cuenca de la Quebrada Pambazo Bajo	74
Figura 36. Cuenca de la Quebrada Quitacalzonez.....	75
Figura 37. Gráfica multianual mensual.....	75
Figura 38. Serie histórica mensual	76
Figura 39. Serie anual mensual.....	76
Figura 40. Diagrama Valores Máximos y Mínimos mensuales de precipitación.....	79
Figura 41. Periodos de diseño en obras de drenaje vial	80
Figura 42. Sección cuneta tipo	83

Figura 43. Lámina de agua en la berma-cuneta.....	84
Figura 44. Variables geométricas de la sección	86
Figura 45. Lm cuneta vs pendiente longitudinal	88
Figura 46. Caudal vs pendiente longitudinal	90
Figura 47. Sección de cuneta K0+190 – K0+230	91
Figura 48. Sumidero tipo rejilla.....	92
Figura 49. Sumidero tipo, planta	93
Figura 50. Caja recolectora del caudal.....	93
Figura 51. Aliviadero tipo, perfil.....	94
Figura 52. Alcantarilla existente en el sector	95
Figura 53. Clasificación de los vehículos en Colombia	102
Figura 54. Perfil estratigráfico.....	106
Figura 55. Portada Software Bs- PCA.....	110
Figura 56. Diseño del pavimento Rígido	111
Figura 57. Recomendaciones para la Longitud de la Losa	112
Figura 58. losa de concreto	113
Figura 59. Losa de concreto pavimento rígido	114
Figura 60. Características de una losa del pavimento.....	116
Figura 61. Colocación de los pasadores de carga	116
Figura 62. Detalle del corte de la Junta.....	117

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplo de datos bajados de la Estación Total	32
Tabla 2. Clasificación de vehículos en Colombia	39
Tabla 3. Representación esquemática de vehículos de transporte de carga	41
Tabla 4. Fechas durante Periodo de conteo vehicular	44
Tabla 5. Resumen de tránsito vehicular en vía a intervenir	45
Tabla 6. Inventario de Apiques	57
Tabla 7. Valores máximos y mínimos de la pendiente	64
Tabla 8. Valores K para el control de distancia de visibilidad	65
Tabla 9. Descripción general estación pluviométrica	77
Tabla 10. Valores máximos de precipitación en 24 horas	77
Tabla 11. Valores Máximos y Mínimos mensuales de precipitación	78
Tabla 12. Valores del coeficiente de escorrentía	79
Tabla 13. coeficientes a, b, c y d para el cálculo de curvas I-D-F para Colombia	81
Tabla 14. Datos gráfica Lm vs pendiente longitudinal	89
Tabla 15. Datos gráfica Caudal vs Pendiente longitudinal	89
Tabla 16. Especificaciones para Sub-Base Granular	99
Tabla 17. Valores de CBR para el tramo	100
Tabla 18. Distribución vehicular en el tramo de estudio	102
Tabla 19. Composición porcentual vehicular	103
Tabla 20. Cargas para cada eje de carga	104
Tabla 21. Composición vehicular en el periodo de diseño (20 años)	105
Tabla 22. Espectro de Carga	105
Tabla 23. Especificaciones para terraplenes	107
Tabla 24. Características pasadores de carga en las losas de pavimento rígido	114
Tabla 25. Características barras de anclaje	115
Tabla 26. Dimensiones nominales de las barras de refuerzo	117
Tabla 27. Cantidades de obra para la construcción del pavimento	118

ANEXOS

- Anexo 1. Plano de topografía
- Anexo 2. Resultados Ensayos de Suelos
- Anexo 3. Planos Planta- Perfil de la vía
- Anexo 4. Cartera de rasante de la vía

1. INTRODUCCIÓN

“La ingeniería civil es la rama de la investigación que pone a disposición de la comunidad los recursos de la naturaleza y algunos afines producidos por el hombre, condensa conocimientos básicos y fundamentales, que sirven de base para el buen desarrollo de la planeación, diseño, ejecución, administración, mantenimiento y modificación de obras de carácter civil, permitiendo de esta forma el avance y desarrollo de las comunidades¹”. Es por ello que resulta importante la aplicación de los conocimientos adquiridos en la academia para contribuir a la materialización de las soluciones, a las crecientes necesidades de infraestructura civil que presenta la sociedad actual.

De acuerdo al planteamiento anterior, el siguiente trabajo de grado, modalidad servicio social, reglamentado en la resolución N° 820 de 2014 de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca; se realiza con el fin de complementar la formación académica universitaria y en este caso mediante la realización de los estudios técnicos previos para la formulación de un proyecto de pavimentación en la vereda San Bernardino en el Municipio de Popayán.

Como estudiantes de la Universidad del Cauca y con el apoyo de los miembros de la comunidad, se realizó la consultoría mediante la elaboración de los estudios necesarios como son: estudio de suelos, estudio de tránsito, estudios topográficos, diseños geométricos, diseño de pavimentos, estudios geológicos y geotécnicos, estudios hidráulicos e hidrológicos, con el objeto de establecer el diseño del pavimento.

¹ Pablo Grech. Introducción a la Ingeniería Civil. 2001, pág. 17

2. JUSTIFICACIÓN

El objetivo de todo ingeniero civil es transformar el entorno de manera favorable para suplir necesidades esenciales en términos de infraestructura; es por ello que cualquier rama seleccionada dentro de esta, debe ser ejercida en un entorno social, cultural y económico.

Debido a que la Alcaldía Municipal no destina recursos para proyectos de pre inversión (diseños, consultorías), la misma comunidad se ve obligada a buscar recursos para tal fin, solicitando el apoyo de entidades públicas de carácter social como lo es la Universidad de Cauca, con el propósito de atender sus necesidades optan por presentar el proyecto que le requiere la alcaldía de Popayán de acuerdo a las normativas de dicha institución pública para la posterior solicitud de recursos que se inviertan en atender a las necesidades de su comunidad.

Los pasantes como estudiantes de la Universidad del Cauca, con la intención de ayudar a la comunidad y siguiendo los requerimientos para optar al título de ingenieros civiles; han realizado como trabajo de grado en modalidad de Servicio Social que beneficia a un grupo importante de personas, los cuales no cuentan con los recursos suficientes para desarrollar los estudios técnicos necesarios para la pavimentación de su carretera de acceso.

3. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto realizado comprende la elaboración de los estudios previos básicos para la formulación de un proyecto de pavimentación de la entrada principal a la Vereda San Bernardino del Municipio de Popayán.

Este propósito nace con la solicitud que la Comunidad realiza a la Universidad del Cauca, requiriendo el apoyo por parte de la Institución con el fin de formular el proyecto siendo esta la base para gestionar recursos y desarrollar las obras de pavimentación.

La Universidad direcciona la solicitud a la Facultad de Ingeniería Civil, en donde es asignado al Departamento de Vías y Transporte con el objeto de ser ejecutado por estudiantes que se encuentren en etapa de trabajo de grado y pueda realizarse entonces en la modalidad de “trabajo social”.

La Vicerrectoría de investigaciones a través de la División de Innovación, Emprendimiento y Articulación con el entorno DAE, realizó una convocatoria de apoyo a trabajos de grado enfocados en el aporte social, lo cual incentivó a los estudiantes autores de este trabajo.

El proyecto se basó en la realización de las actividades previas y los estudios necesarios para diseñar la estructura de pavimento rígido como superficie de rodadura final en la vía de acceso a la Vereda.

Estos estudios que se detallan posteriormente son:

- Levantamiento topográfico
- Estudio de suelos
- Estudio de tránsito
- Estudio geológico
- Estudio hidráulico e hidrológico
- Diseño geométrico
- Diseño del pavimento rígido

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Realizar un proyecto de consultoría de estudios técnicos previos para la pavimentación de la entrada principal de la vereda SAN BERDARDINO, del municipio de Popayán.

4.2. Objetivos específicos

- Establecer las condiciones iniciales de la vía en cuestión y su influencia en el entorno.
- Realizar los procesos necesarios para establecer los parámetros básicos de diseño tanto geométrico como del pavimento de la carretera.
- Hacer los diseños geométricos, de drenaje vial y de pavimento y entregar un documento que sea base para la comunicad y con esta pueda solicitar los recursos necesarios para su ejecución ante alguna entidad pública o privada que lo financie.
- Socializar el proyecto a la comunidad en general.

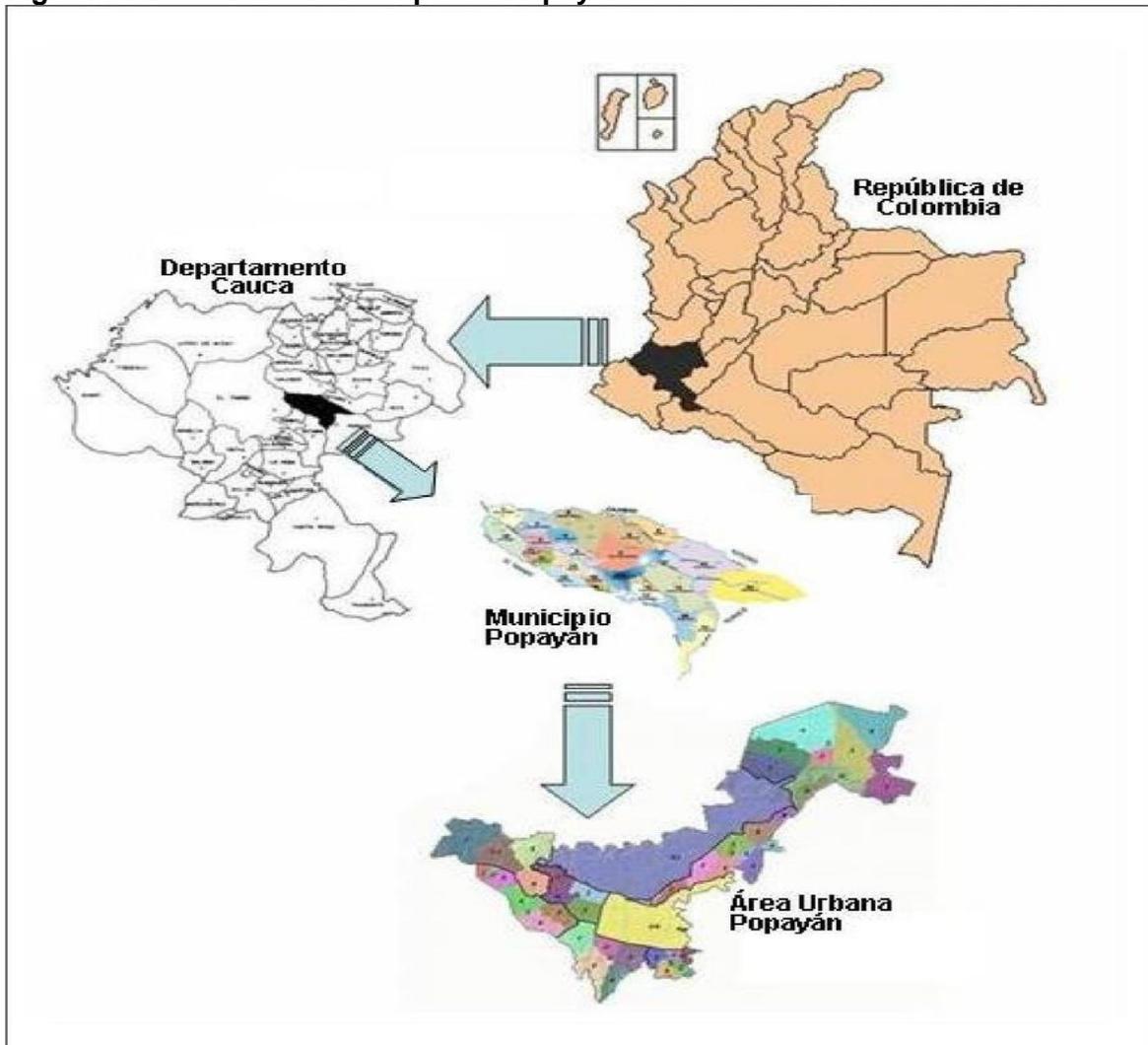
5. GENERALIDADES

5.1. Localización del proyecto

El proyecto está ubicado en la vereda san Bernardino en el municipio de Popayán, capital del departamento del Cauca el cual está localizado al suroeste de Colombia, ver figura 1.

Popayán es una ciudad conocida por sus edificios enalados de color blanco, característicos de la época colonial y reconocida por su tradición religiosa representada mediante las procesiones populares de Semana Santa.

Figura 1. Localización Municipio de Popayán



Fuente: Plan de Desarrollo Municipal “Bienestar Para Todos”

La Vereda San Bernardino se encuentra ubicada al norte de la ciudad de Popayán, sobre la variante de la vía Panamericana. La zona a realizar el levantamiento topográfico es un tramo de vía que se extiende a lo largo de la vereda y corresponden a 230 metros lineales de la entrada principal de la misma.

Ver los detalles del tramo a intervenir en las figuras 2,3 y 4.

Figura 2. Localización tramo a intervenir



Fuente: Elaboración propia sobre Google Earth

Figura 3. Localización Carrera 17 Norte



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4. Localización vereda San Bernardino (tramo a intervenir)



Fuente: Elaboración propia sobre Google Earth

5.2. COMUNIDAD RECEPTORA

La vereda san Bernardino tiene una junta de acción comunal, con personería jurídica N° 065 del 11 de marzo de 1972, está conformada por una población aproximada de 600 habitantes entre adultos, jóvenes y niños los cuales se beneficiaran directamente con la formulación para la realización de este proyecto.

Las actividades económicas que tienen sus habitantes son entre otras, el cultivo de yuca, maíz y algunos pequeños productores de cría de cerdos y ganado vacuno. Toda la producción es dependiente de la vía de acceso, tanto para el ingreso de insumos como para la extracción de los productos. Algunos habitantes trabajan en construcción y en trabajo doméstico, para lo cual deben movilizarse hacia la parte urbana de la ciudad.

Esta comunidad es unida y trabajan por un fin común: su gente. Culturalmente en el sector se celebra cada año la fiesta del niño Dios y en el mes de mayo la fiesta de SAN BERNARDINO patrono de la vereda, actividad que entre otras refleja el compromiso y entrega con su población.

Al fomentar la pavimentación de este tramo de vía, se mejorará la movilidad del sector, la calidad de vida de sus habitantes y se espera reducir las afectaciones a las viviendas que concurren en la vía dado las condiciones que se presentan actualmente en la vía, generando un impacto social positivo desde la formación académica de los estudiantes en pro del desarrollo de la comunidad.

Las figuras 5 y 6, muestran algunas actividades realizadas por Junta de acción comunal.

Figura 5. Comunidad Vereda San Bernardino en charlas de capacitación



Fuente. Junta De Acción Comunal

Figura 6. Comunidad Vereda San Bernardino en minga



Fuente. Junta De Acción Comunal

5.3. Normativa de modalidad social de la Universidad del Cauca

La resolución N° 820 del 2014 del 14 de Octubre de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca; El Consejo de la Facultad de Ingeniería Civil, en uso de sus atribuciones por el acuerdo N°. 027 de 2012 emanado por el Consejo Superior universitario, resuelve:

Art 16. Obligaciones de la Entidad Receptora

Parágrafo

En la modalidad de práctica Social se requiere:

- Un compromiso escrito por parte de la comunidad beneficiada, en el cual sume los gastos adicionales a los aportes universitarios que genere el proyecto.
- Que sean planteados por comunidades de escasos recursos económicos y que generen beneficio comunitario.
- Que la participación universitaria en el proyecto sea ajena a cualquier utilización de índole personal, política o económica durante su ejecución.
- Que faciliten la contribución a las comunidades necesitadas de conceptos técnicos y que por su desconocimiento o poca capacidad administrativa no puedan acceder a recursos del estado o instituciones de financiamiento.

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

6. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

6.1. METODOLOGIA

Como actividad básica para iniciar los estudios para el proyecto, se realizó el levantamiento topográfico realizando el siguiente proceso:

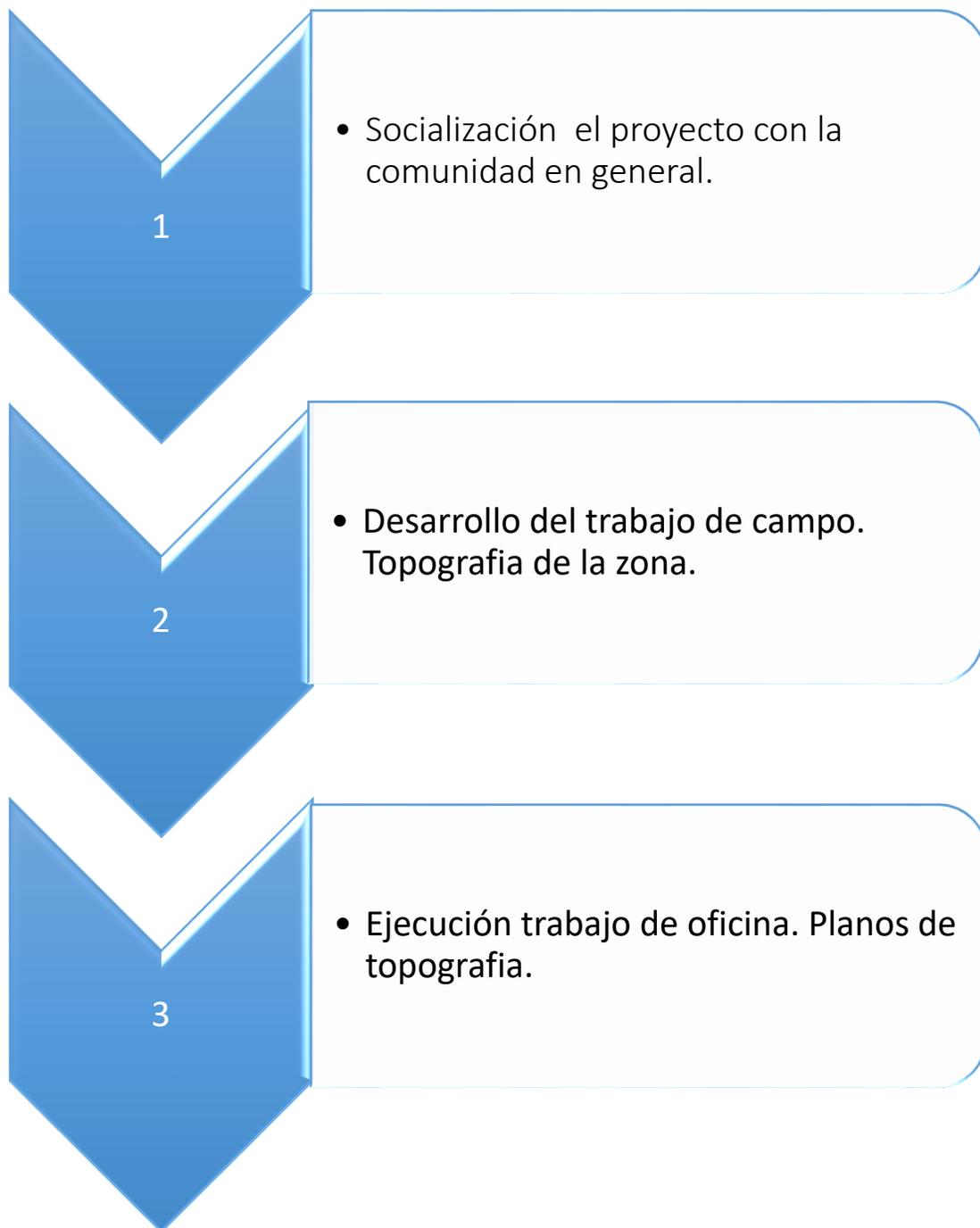
- Se llevó a cabo una socialización del proyecto con la comunidad en cabeza del presidente de la Junta de Acción Comunal de la vereda y posteriormente para el levantamiento topográfico de la vía existente y su respectiva distribución, se realizó como primer punto, una visita al sector para observar sus condiciones iniciales.

- Se realizó un registro fotográfico de la vía existente y de todas las construcciones visibles en el sector, se tomaron detalles como: alcantarillas, cunetas, cámaras de inspección, postes de energía, válvulas de inspección, cercos, casas entre otros; así como el reconocimiento a la vía contigua al tramo a intervenir que actualmente tiene un pavimento en sistema de placa huella.

- Luego se procedió a realizar el levantamiento topográfico del tramo de vía a intervenir elementos adyacentes al mismo; terminado el trabajo de campo se concluyó con trabajo de oficina realizando con ayuda de programas como TOPO 3 y AutoCAD, el modelo digital del terreno y los planos correspondientes a la topografía del sector.

Ver diagrama de la metodología en la figura 7.

Figura 7. Diagrama metodología levantamiento topografico



Fuente: Elaboración propia.

6.2. RECURSOS.

6.2.1. Logística

Para realizar el levantamiento topográfico se realizaron visitas con la comisión de topografía definiendo el proceso a desarrollar para el mismo.

6.2.2. Recurso humano

El trabajo de trabajo de campo y de oficina estuvo dirigido y coordinado por la Ingeniera Alexandra Rosas Palomino (Profesora de la Universidad del Cauca) con Matrícula Profesional 19202 – 54150 CAU, apoyado de dos estudiantes de Ingeniería Civil de décimo grado de la Facultad de Ingeniería Civil: Jesica Patricia Noguera Catuche con código estudiantil 100413010547 y Andrés David Noguera Insuasty con código estudiantil 100141400000; y un topógrafo como apoyo al trabajo, también se tuvo acompañamiento de la comunidad en oficios varios.

6.2.3. Recurso técnico

Para obtener una información georeferenciada de los puntos de amarre, se utilizó un GPS diferencial de doble frecuencia, de propiedad particular. Para el levantamiento detallado, se utilizó un procedimiento convencional con Estación total y Nivel de precisión.

Los equipos utilizados para el levantamiento topográfico fueron:

- **Estación Total NIKON NIVO 2C:** La Serie Nivo C está diseñada con una interfaz repleta de funciones de Windows CE ® con pantalla táctil, Las funciones de software de aplicación de campo son compatibles con el software de campo de clase mundial Spectra Precisión Encuesta ® Pro ™ para todas sus necesidades de topografía y medición de la construcción. **ESPECIFICACIONES TECNICAS**

- Estación total Japonesa
- Precisiones de 1, 2, 3 y 5 Segundos
- Óptica de 30 Aumentos
- Medición sin prisma de 1.5m hasta 300 metros
- Medición con 1 Prisma de 1.5m hasta 5.000 metros
- Precisión de 2mm + 2 ppm con prisma
- Comunicación por Cable RS232, 2 X USB, Bluetooth

- Plomada óptica de 3X, laser opcional
- 1 Display cara 1 Táctil QVGALCD
- 1 Display cara 2 Análogo LCD
- Memoria interna de 128MB

Figura 8. Estación total Nikon Nivo 2C



Fuente: www.equiposdetopografica.com

✓ GPS

El DGPS (Differential GPS), o GPS diferencial, es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS, con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada. Se concibió fundamentalmente debido a la introducción de la disponibilidad selectiva (SA).

6.2.4. Equipo de oficina

- Computador.
- Software de pos proceso GPS Topcon Tools V7, de la Universidad del Cauca con licencia.
- Software de proceso de información topográfica TOPO3, de distribución gratuita de autoría del Ingeniero Efraín Solano Fajardo.
- Software de dibujo asistido por computador AutoCAD de licencia de la Universidad del Cauca.
- Servicio de plotter externo.

6.3. TRABAJO DE CAMPO

6.3.1. Preliminares

Inicialmente se realizó una visita de reconocimiento al tramo de vía con acompañamiento de comunidad en cabeza de su junta de acción, para detallar elementos y construcciones existentes. Exploración del área de intervención de la vía y aspectos relevantes a tener presente al momento de realizar el levantamiento topográfico. Además se hizo un bosquejo preliminar de la ubicación de los puntos de referencia así como de la poligonal abierta de base.

6.3.2. Trabajo de campo

Para realizar el levantamiento topográfico, inicialmente se localizaron 2 puntos de referencia (RF1, RF2) Se hizo la respectiva ubicación de los puntos con la utilización de estacas y puntillas además de un spray para una mayor visualización. Estos 2 puntos se ubicaron sobre la berma-cuneta de la Vía Panamericana.

Figura 9. Ficha de mojones de referencia

FICHA DE MOJONES DE REFERENCIA RF1 - RF2	
MOJON N° RF1	VEREDA SAN BERNARDINO- POPAYAN-CAUCA
PLANO DE UBICACIÓN	REGISTRO FOTOGRAFICO
	
COORDENADAS MAGNA SIRGAS	
NORTE :	767198.0185
ESTE:	1054814.81
COTA:	1805.642
DESCRIPCION:	
Punto ubicado sobre la berma cuneta de la via panamericana al Norte de la Ciudad de Popayan en la entrada principal de la Vereda de San Bernardino. Octubre de 2018	
MOJON N° RF2	VEREDA SAN BERNARDINO- POPAYAN-CAUCA
PLANO DE UBICACIÓN	REGISTRO FOTOGRAFICO
	
COORDENADAS MAGNA SIRGAS	
NORTE :	767175.4933
ESTE:	1054806.511
COTA:	1805.485
DESCRIPCION:	
Punto ubicado sobre la berma cuneta de la via panamericana al Norte de la Ciudad de Popayan en la entrada principal de la Vereda de San Bernardino. Octubre de 2018	

Fuente: Elaboración propia

6.3.3. Poligonal de base

Para el levantamiento topográfico al detalle se realizó primero una poligonal de base, la cual está conformada por puntos denominados deltas (\square), colocados a lo largo del tramo de vía considerando que cada uno de ellos se pueda visualizar partes descriptivas del lote que al incorporarlas conformen el área total. Los Deltas que conforman la poligonal de base son debidamente materializados en campo y tienen unas coordenadas (N, E, Z) definidas sobre el plano del levantamiento

En el levantamiento se colocaron 3 deltas; iniciando el delta N° (DELTA1) en la entrada principal al inicio del tramo y continuando a lo largo de la vía, el delta N° 2(DELTA2) se encuentra a aproximadamente 100 metros lineales desde la entrada principal y el delta N° 3(DELTA3) se encuentra ubicado aproximadamente a 220 metros lineales. La longitud total de la poligonal base es de 233 metros.

Figura 10. Poligonal Base



Fuente. Elaboración Propia sobre Google Earth

Figura 11. Ficha de deltas de la poligonal de base

FICHA DE DELTAS DE LA POLIGONA LA BIERTA	
DELTA N° DELTA 1	VEREDA SAN BERNANDINO- POPAYAN-CAUCA
PLANO DE UBICACIÓN	REGISTRO FOTOGRAFICO
	
COORDENADAS MAGNA SIRGAS	
NORTE :	767152.2166
ESTE:	1054763.967
COTA:	1804
DESCRIPCION:	
Punto ubicado sobre el tramo de via a realizar el lentamiento, en la entrada a la vereda san bernandino. Octubre de 2018	
DELTA N° DELTA 2	VEREDA SAN BERNANDINO- POPAYAN-CAUCA
PLANO DE UBICACIÓN	REGISTRO FOTOGRAFICO
	
COORDENADAS MAGNA SIRGAS	
NORTE :	767175.1333
ESTE:	1054660.298
COTA:	1802.029
DESCRIPCION:	
Punto ubicado sobre el tramo de via a una longitud horizontal aproximada de 100 metros desde la entrada rincipal. Octubre de 2018	

DELTA N° DELTA 3		VEREDA SAN BERNANDINO- POPAYAN-CAUCA	
PLANO DE UBICACIÓN		REGISTRO FOTOGRAFICO	
			
COORDENADAS MAGNA SIRGAS			
NORTE :	767219.9582		
ESTE:	1054557.183		
COTA:	1799.763		
DESCRIPCION:			
Punto ubicado sobre el tramo de via a una longitud aproximada de 220 metros desde la entrada rincipal. Octubre de 2018			
			

Fuente: Elaboración propia

6.3.4. Toma de topografía

Una vez nivelados los deltas, desde cada uno de ellos se realizó el levantamiento de los detalles y la toma de topografía del terreno utilizando la estación total. Los detalles tomados fueron: vía panamericana, vía existente, eje de vía, cámaras de inspección, postes, arboles, terreno natural, cercos, borde vía existente, cunetas, sardinel, alcantarillas, paramento, antejardín, válvula, portada, malla, rampa, andén, placa huella.

Para el levantamiento topográfico se contó con la ayuda y acompañamiento de la comunidad. Es de mencionar que el tramo adyacente al tramo a intervenir cuenta con sistema de pavimento en placa huella por cual se tomaron puntos sobre la placa huella para realizar el empalme de los sistemas de pavimentación.

La información obtenida durante el levantamiento con la estación total, es una nube de puntos conformada por el número del punto sus coordenadas(N, E, Z) y la descripción de lo que corresponde a ese punto. En total se levantaron 522 puntos.

Figura 12. Toma de detalles con Estación Total



Fuente: Elaboración Propia

6.4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

6.4.1. Transferencia de datos.

Mediante un software específico del equipo (Estación total) se trasladan los datos al computador y se transforman en un formato de Excel, según está descrito en LA TABLA 6 (Nº de punto, Coordenada N, Coordenada E, Coordenada Z y el código o descripción del punto).

Tabla 1. Ejemplo de datos bajados de la Estación Total

Numero	Coordenada N	Coordenada E	Coordenada Z	Descripción
1	767152.217	1054763.97	1804	DELTA 1
2	767175.493	1054806.51	1805.485	RF2
56	767164.567	1054723.65	1802.877	BORDE
24	767166.225	1054714.67	1802.485	Vía Dst

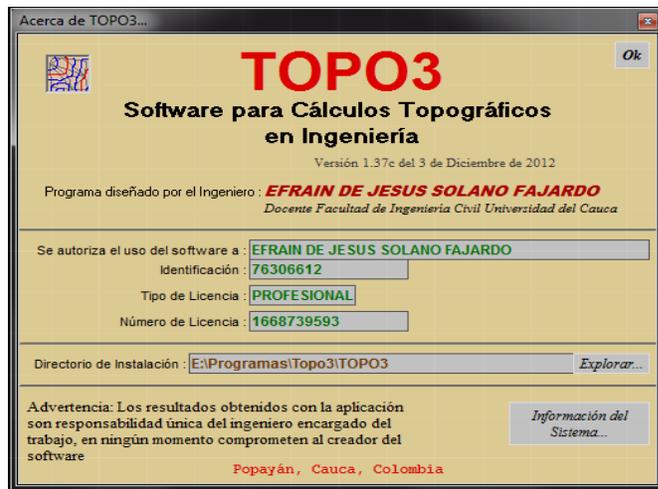
Fuente: Elaboración propia.

Se organiza la información proveniente de campo en forma ordenada, es decir, clasificándolos por el código y/o descripción, para poder llevar estos datos al software de aplicación topográfica de una manera coherente para el software y de fácil entendimiento al momento de crear las líneas de quiebre. Se debió hacer una corrección a las coordenadas de uno de los puntos de referencia ya que dichas coordenadas diferían con el resto de puntos tomados.

6.4.2. Procesamiento de datos

Se ha utilizado el programa TOPO3, realizado por el Ingeniero Efraín Solano (Profesor Facultad de Ingeniería Civil-Unicauca), el cual permite transformar la información de los puntos en un dibujo topográfico con curvas de nivel. Luego se traslada el dibujo de TOPO3 a AutoCAD, Programa que se utiliza para dibujar y visualizar de una forma más clara la información.

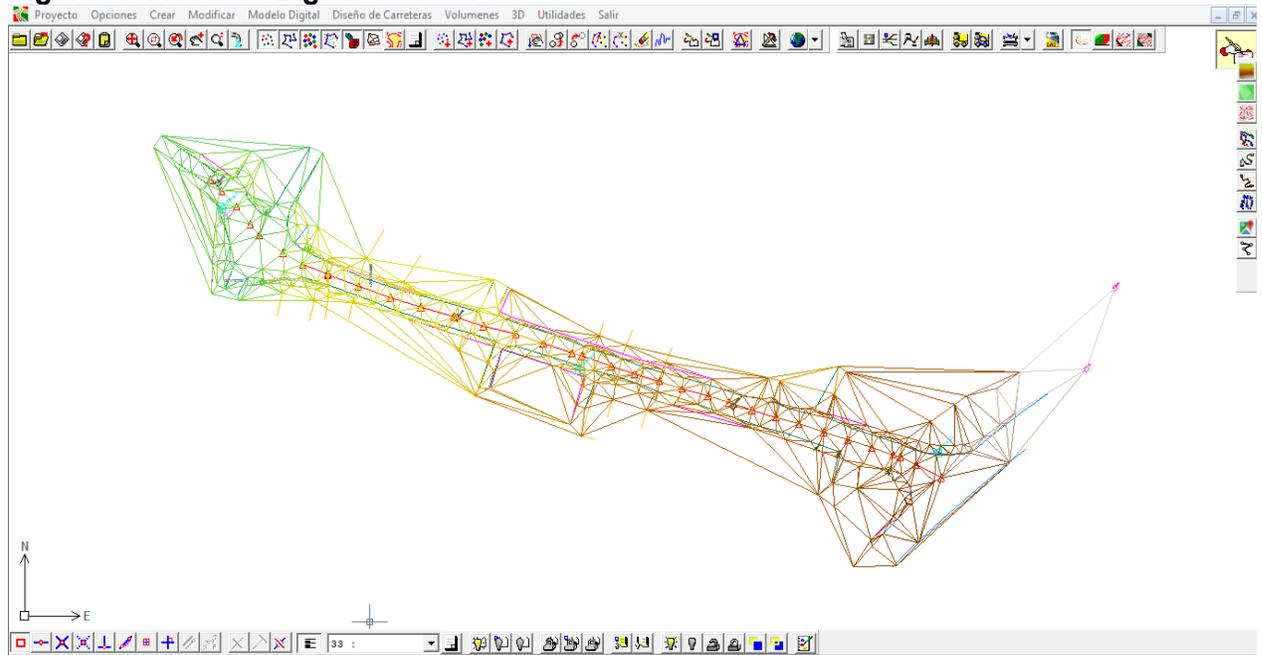
Figura 13. Portada Software TOPO3



Fuente: Elaboración propia sobre un pantallazo del software TOPO3.

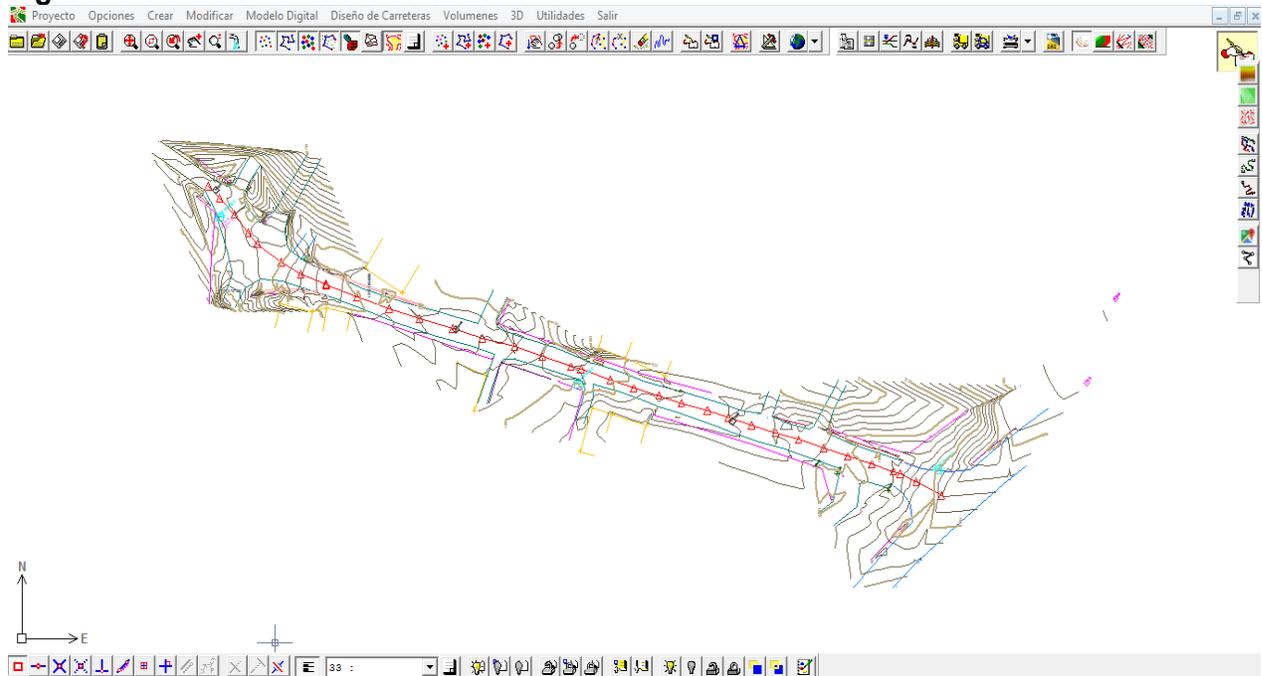
Para generar el MDG se realizaron polilíneas y se tomaron como líneas de quiebre como cunetas, cerco, paramento, borde de vía, eje de vía, vía existente, sardinel, antejardín, rampa, placa huella. Las curvas de nivel se realizaron a un intervalo de 0.2 metros, se registró una cota mínima y máxima de 1787 y 1815 respectivamente.

Figura 14. Modelo Digital Terrestre



Fuente: Elaboración propia sobre un pantallazo del software TOPO3

Figura 15. Curvas de nivel C/0.2 metros

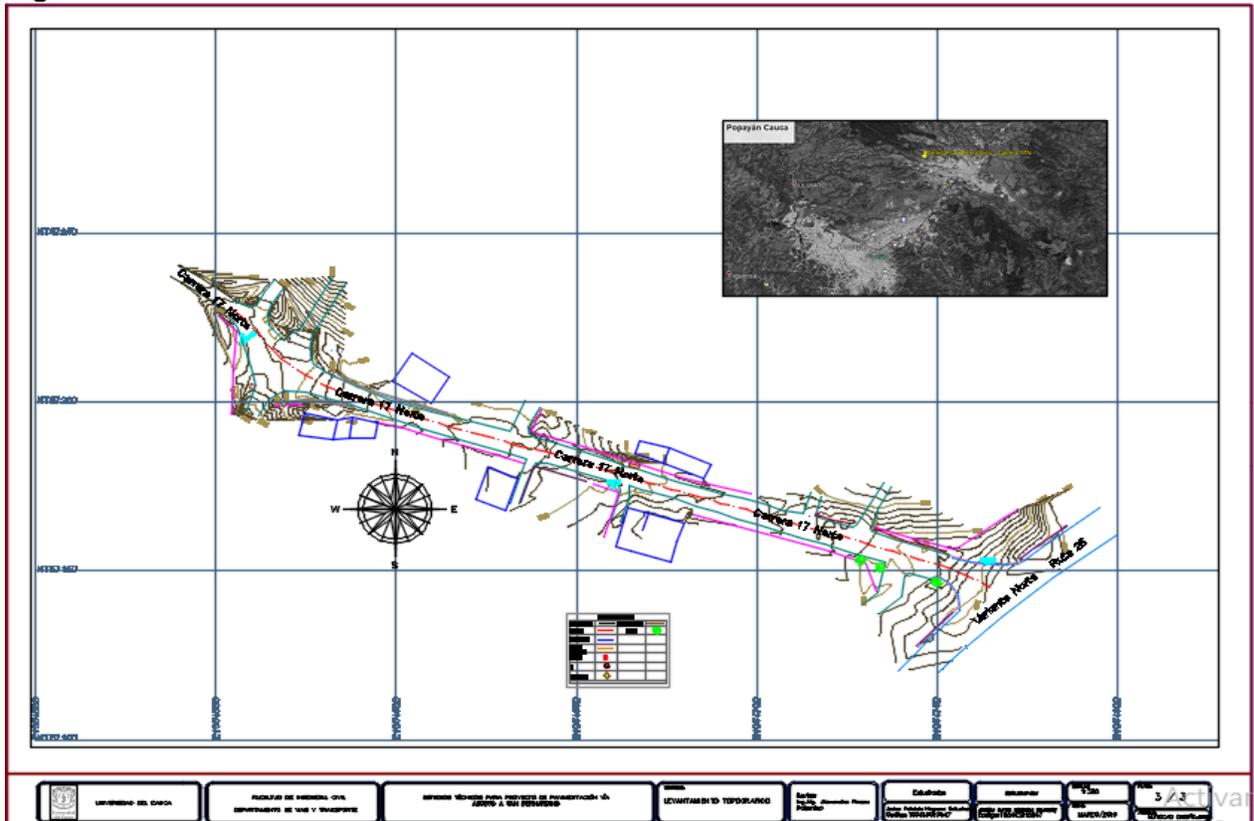


Fuente: Elaboración propia sobre un pantallazo del software TOPO3.

6.5. REALIZACIÓN DE PLANOS.

Como se mencionó en el numeral anterior para dibujar y visualizar la información se utiliza el programa AutoCAD; en este formato se resaltan por medio de líneas, las curvas de nivel (trazadas cada 0.2m), la vía, construcciones existentes, los paramentos entre otros.

Figura 16. Plano de lote en AutoCAD



Fuente: Elaboración propia sobre un pantallazo del software AutoCAD.

6.6. RESULTADOS

- Planos de la topografía.

Anexo 1. Plano de topografía.

ESTUDIO DE TRÁNSITO

7. ESTUDIO DE TRÁNSITO

7.1. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para la determinación del volumen de tránsito en la vía de san Bernardino se basó fundamentalmente en la realización de tres aforos de tránsito de acuerdo con lo propuesto para la vía a intervenir.

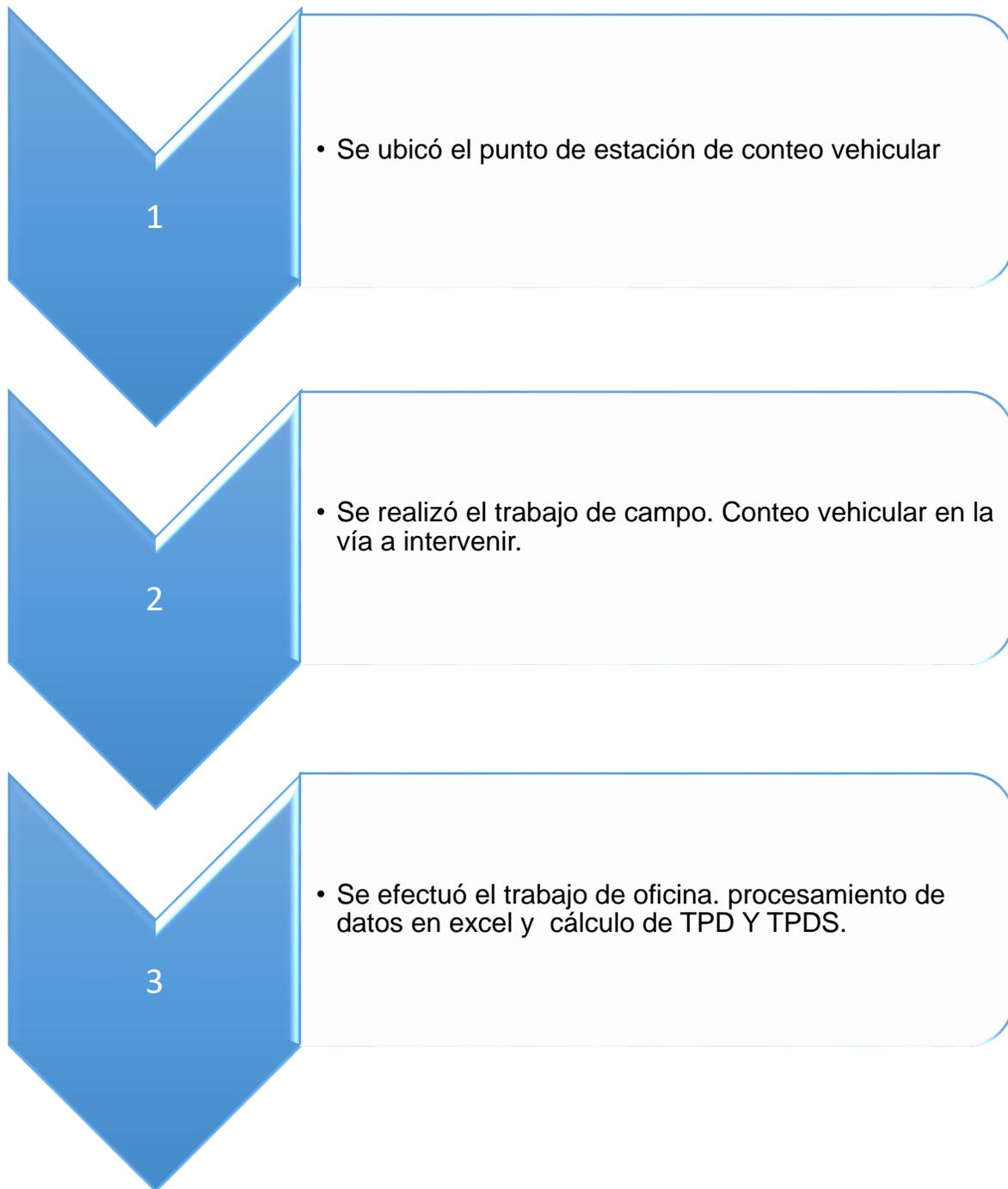
Los aforos se realizaron en el periodo comprendido en la semana del 5 al 11 de noviembre. Para la ejecución de estos aforos como primer punto se tuvo en cuenta la ubicación de la estación de conteo volumétrico, teniendo en consideración aspectos como la geometría de la vía; la existencia de caminos existentes con la finalidad de evitar la cercanía a estos con el propósito de que el tráfico que se desvía por ellos no afectara el conteo y el procesamiento de datos además como una adecuada visibilidad para identificar con facilidad los vehículos.

Posteriormente se procedió a hacer el levantamiento vehicular que concluyó con trabajo de oficina realizado con la ayuda del programa Excel para efectuar el procesamiento de los datos recogidos en campo y determinar así, parámetros de diseño geométrico de la vía, como también de diseño de pavimento; Tránsito Promedio Diario (TPD) Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS).

Cabe resaltar que debido a las características de bajo volumen de tránsito que regularmente transita por la vía, el conteo se realizó de manera manual y para ambos sentidos de circulación.

La figura 17, ilustra la metodología utilizada en los conteos mencionados.

Figura 17. Diagrama metodológico para conteo Vehicular



Fuente: Elaboración Propia

7.2. GENERALIDADES

7.2.1. Clasificación de los vehículos

Teniendo en cuenta el manual de Diseño Geométrico 2008 del Instituto Nacional de Vías-INVIAS, los vehículos se clasificaran como:

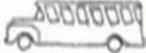
A= Vehículos de pasajeros (livianos)

B=Vehículos de pasajeros (pesados)

C=Vehículos de carga

La representación esquemática de los vehículos más comunes se observa en la siguiente ilustración:

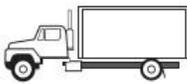
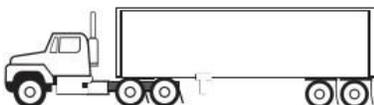
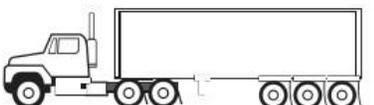
Tabla 2. Clasificación de vehículos en Colombia

CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS EN COLOMBIA					
TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA	TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA
AUTOS			C3 Y C4	CAMION C3	
				CAMION C4	
				TRACTO-CAMION C2-S1	
BUSES	BUSETA			TRACTO-CAMION C2-S2	
	BUS			TRACTO-CAMION C3-S1	
	BUS METROPOLITANO			C5	TRACTO-CAMION C3-S2
C2-P	CAMION DE DOS EJES PEQUENO				> C5
C2-G	CAMION DE DOS EJES GRANDE				

Fuente: copernicoescuelaing.edu.co

La designación para los vehículos de transporte de carga en el territorio nacional, de acuerdo con la configuración de sus ejes, se muestra en la siguiente tabla.

Figura 18. Representación esquemática de vehículos de transporte de carga

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Dobletrouque
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Fuente: Manual de diseño para pavimentos de concreto del INVIAS.

Los vehículos transmiten al pavimento las cargas a través de las llantas, las cuales están dispuestas en líneas de rotación llamadas ejes y estos se clasifican en ejes simples, tándem o trídem y a su vez cada eje puede ser de llantas sencillas, dobles o mixtas.

7.2.2. Peso vehicular por eje

Los vehículos, transmiten las cargas al pavimento a través de las ruedas, que como se dijo, están dispuestas en ejes. El Ministerio del Transporte, a través de la resolución 4100 de 2004 reglamenta el peso que pueden transmitir tanto los vehículos, como los diferentes ejes de carga. En la Tabla 3 se registra la información sobre la carga máxima admisible para los vehículos más comunes en el país de acuerdo con esta resolución; en la Tabla 4 se indica la carga máxima para los ejes más frecuentes.

Tabla 3. Representación esquemática de vehículos de transporte de carga

Tipo de eje	Peso máximo por eje, kg
Eje sencillo	
Dos llantas	6,000
Cuatro llantas	11,000
Eje tándem	
Cuatro llantas	11,000
Seis llantas	17,000
Ocho llantas	22,000
Eje trídem	
Seis llantas	16,500
Ocho llantas	19,000
Diez llantas	21,500
Doce llantas	24,000

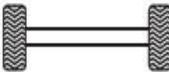
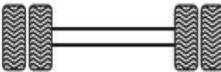
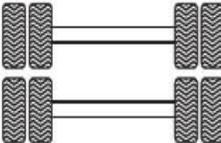
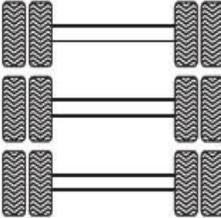
Fuente: Manual de diseño para pavimentos de concreto del INVIAS.

Por ley los vehículos deben cumplir simultáneamente con las condiciones de máxima carga vehicular y máximo peso por eje.

7.2.3. Eje patrón o daño unitario

Dada la gran cantidad de cargas que pueden circular por las vías, los métodos de diseño de pavimentos recurren a establecer un eje patrón al cual se le asigna una carga determinada, la más tradicional es la de 8,2 toneladas para el eje sencillo de llanta doble. Cuando un eje pasa por un sector de la vía genera un daño proporcional a la carga que trasmite al suelo. Al eje patrón de 8,2 toneladas se le asignó un valor de daño igual a la unidad

Figura 19. Tipos de eje y su carga máxima

Descripción	Configuración	Peso, t
Eje simple direccional		6.0
Eje simple llanta doble		11.0
Eje tándem llanta doble		22.0
Eje tridem llanta doble		24.0

Fuente: Manual de diseño para pavimentos de concreto del INVIAS.

7.2.4. Tránsito promedio diario - TPD

El TPD se hace contando, durante un lapso establecido, todos los vehículos que pasan por una sección de la vía (todos los carriles y ambas direcciones), luego se saca un promedio diario que se conoce con el nombre de TPD. La información del TPD se refina estableciendo el porcentaje de vehículos clase A, B ó C. Los conteos pueden ser semanales, mensuales e inclusive anuales, en ese caso a la sigla TPD se le incluye el subíndice “s”, “m”, o, “a” (semanal, mensual y anual respectivamente) según sea el caso.

El más usual es el Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDs) en cuyo caso se refiere a que el conteo se hizo durante una semana.

7.2.5. Periodo de diseño y vida útil

Los pavimentos se diseñan para que duren un determinado número de años dependiendo del tipo escogido y de algunas condiciones económicas. Por las características funcionales de los pavimentos de concreto hidráulico, se recomienda que el período de diseño sea igual o superior a los 20 años.

Por su parte la vida útil es el número de años en que el pavimento está en condiciones de permitir la circulación de los vehículos en unas condiciones buenas de operación.

Para el presente trabajo se ha considerado un periodo de diseño de 20 años para todos los análisis estructurales, el cual bajo premisas teóricas debe coincidir como mínimo con la vida útil del pavimento, en el caso que exista una buena certeza en el análisis de las variables de diseño y su respectiva proyección. Este periodo de diseño es el que comúnmente se utiliza para los diseños en Colombia.

7.3. TRABAJO DE CAMPO

7.3.1. Variables medidas

Se tuvo en cuenta la distribución de los vehículos que son más influyentes en la zona, además del volumen de vehículos pesados que transita. Teniendo en cuenta esto, los vehículos que fueron contados, se identifican así:

- Automóviles: Autos, camperos, camionetas
- Buses: Buses, busetas
- Motocicletas
- Camiones:

- C2: Camión de 2 ejes o C2P
- Camiones de 2 ejes pequeños o C2G
- Camiones de 2 ejes grandes
- C3: Camión de 3 ejes
- C4: Camión de 4 ejes
- C5: Camión de 5 ejes
- >C5: Camión de más de 5 ejes

Inicialmente se realizó la ubicación de la estación de conteo teniendo en cuenta parámetros de visibilidad y geometría de la vía mencionada anteriormente.

7.3.2. Fechas de realización de conteo

Para la ejecución del levantamiento vehicular, se hizo un conteo para ambos sentidos de flujo durante 12 horas consecutivas para los días propuestos de 7:00 am a 7:00 pm con intervalos de tiempo correspondiente a 15 minutos.

Se utilizó un formato de conteo de tránsito que permitió registrar la composición del tráfico que proporcionó información para el diseño de pavimentos y el estudio de factibilidad técnica y económica.

A continuación, se presentan las fechas de aforo además de información del formato utilizado.

Tabla 4. Fechas durante Periodo de conteo vehicular

Martes, 6 de noviembre de 2018
Jueves , 8 de noviembre de 2018
Sábado ,10 de noviembre de 2018

Fuente: Elaboración Propia

7.4. TRABAJO DE OFICINA

Finalizado el trabajo de campo se procedió con el trabajo de oficina. Inicialmente se llevó la información recogida en los formatos físicos a formato digital con la finalidad de tener mejor manejo de la información para esto se utilizó el programa EXCEL, posterior a ello y con la información digital se hicieron los cálculos correspondientes a el tránsito promedio diario (TPD) y el tránsito promedio semanal (TPDS)

A continuación, se muestra un resumen del procesamiento de datos en los días de aforo.

Tabla 5. Resumen de tránsito vehicular en vía a intervenir

Total tránsito/día de aforo	Bicicletas	Motos	Automóviles	Camioneta	Camión C2	Camión C3	Camión C3S3
Martes, 6 de noviembre	128	617	295	121	28	4	1
Jueves, 8 de noviembre	143	668	321	107	13	2	0
Sábado, 10 de noviembre	165	553	196	87	8	2	0

Fuente: Elaboración Propia

Según la clasificación de los niveles de tránsito en el **ARTÍCULO 100 del INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, INVIAS 2013**, el nivel de tránsito para este proyecto es **NT1**.

7.5. CÁLCULO DEL TRÁNSITO POR EL MÉTODO PCA

Los principales factores de tránsito que inciden en el diseño de un pavimento rígido y en las huellas para una placa huella, son el número y la magnitud de las cargas por eje más pesadas, que esperan durante el periodo de diseño. Estos valores se obtienen a través de estimativos de:

- TPD (Tránsito promedio diario en ambas direcciones)

- TPD-C (Tránsito promedio diario de vehículos comerciales en ambas direcciones).
- Cargas por eje de los vehículos comerciales.
- Proyección del Tránsito

En este método se utilizan las tasas de crecimiento anual para asociarlas a unos factores de proyección pre establecidos, en periodos de 20 a 40 años, recomendada por la PCA.

Periodo de Diseño = 20 Años

La vía a pavimentar es un sector con una proyección de crecimiento y por seguridad se adopta una **tasa de crecimiento anual de 3%**

TPD Proyectado Para la vía terciaria, la fórmula de la expresión de cálculo utilizada es la siguiente:

$$N_t = TPD * F_p * F_d * N * 365 * \frac{(1+r)^N - 1}{r}$$

N_t= Tránsito futuro

TPD= Tránsito Promedio Diario

N= Periodo de diseño (20 años)

F_p= Factor carril (0.5)

F_d= Factor de distribución (1)

R= Tasa de crecimiento anual (3%)

N_t= 44036513 vehículos en el periodo de diseño

En conclusión se puede observar que ocasionalmente pasa un camión tipo C3 por lo tanto en cuanto a estudio de tránsito este proyecto cumple con el PROYECTO ESTANDAR establecido por el ministerio de Transporte.

ESTUDIO DE SUELOS

8. ESTUDIO DE SUELOS

8.1. ESTUDIO GEOLÓGICO

Para la construcción de cualquier tipo de estructuras la información sobre la geomorfología, geología, hidrología, geología estructural, etc; son primordiales para el desarrollo del diseño y cálculo estructural, hidráulico y todos aquellos estudios que se requieran para el buen desarrollo de un proyecto. El diseño de los elementos de la subestructura se realizará tomando en cuenta aspectos de ingeniería estructural, geotécnica e hidráulica en forma conjunta.

8.1.1. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA A NIVEL REGIONAL (Departamento del Cauca)

El relieve actual del Departamento del Cauca es el resultado de la combinación de eventos orogénicos y procesos tectónicos que produjeron el levantamiento de la cordillera de Los Andes colombianos, debido a la subducción producida por el choque entre las placas de Nazca y Suramericana. Durante este proceso, se ha desarrollado una serie de eventos tectónicos, sedimentarios, ígneos y metamórficos superpuestos, que, para el caso del Departamento del Cauca, se iniciaron durante el Precámbrico y continuaron durante el Paleozoico, hace más de 570 millones de años.

El occidente del país está atravesado de sur a norte por un sistema de fallas geológicas más conocido como el sistema de fallas de Romeral, una paleosutura que se extiende desde el Ecuador y se prolonga hasta el mar Caribe y separa un conjunto de rocas de afinidad continental, al oriente, de otro conjunto de rocas de afinidad oceánica, al occidente.

Al occidente de la falla de Romeral se encuentran rocas cuyo origen está asociado a la actividad volcánica submarina durante el Cretáceo, que comenzó hace 144 millones de años y terminó hace 65 millones de años. Estas rocas componen el basamento del valle intercordillerano Cauca – Patía y la cordillera Occidental. En estos dos grandes conjuntos de rocas, continentales y oceánicas, se ha dado la evolución geológica del departamento del Cauca.

La evolución geológica en esta parte del territorio ha conformado en el departamento seis grandes unidades geológicas y del relieve a saber:

- Llanura del Pacífico e isla Gorgona.
- Cordillera Occidental
- Depresión intercordillerana del Cauca – Patía
- Cordillera Central

- Cordillera Centro – Oriental
- Unidad Amazónica

Figura 20. Descripción geológica del Departamento del Cauca



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

8.1.2. Descripción Geológica del Municipio de Popayán

8.1.2.1. Geología

Según los estudios de INGEOMINAS, mencionados en el aparte de metodología el resultado de los estudios geológicos del Municipio se presenta en términos generales considerando las principales unidades aflorantes, los aspectos estratigráficos, el marco tectónico regional y local, las unidades litológicas aflorantes en el sector urbano, aspectos hidrogeológicos y de geología económica.

Las principales unidades aflorantes en el municipio de Popayán, de acuerdo con el estudio correspondiente al cuadrángulo N6 (Orrego y París, INGEOMINAS, 1991) corresponden a las siguientes.

- Paleozoico.

Las unidades geológicas correspondientes a este periodo han sido agrupadas en un Conjunto al cual se ha denominado Grupo Arquía y corresponde a un conjunto de rocas meta sedimentaria esquistosa que ha sido diferenciada en las siguientes unidades:

- ✓ Pz?mga: Este conjunto de rocas se conforma de Anfibolitas, Metagabros y esporádicos y delgados niveles de Metapelitas en el rango de Esquistosa a Metagabros se presentan macizos y de un color verde-grisáceo. Las Metapelitas presentan excelente foliación Esquistosa con láminas Micáceas, de moscovita y Biotita.
- ✓ Pz?evm: Se compone de esquistos verdes (Metabasitas), con intercalaciones ocasionales de esquistos, Cuarzo-micáceos, Carbonáceos, Cuarcitas y Metasamitas; presenta un color verde grisáceo y oscuro.

- Mesozoico

- ✓ Granitóide Catalizado de Bellones (Mzgb): Se define como un bloque tectónico alargado, conformado principalmente por un cuarzo diorita (tonalita) o granodiorita catalizada. los principales minerales son cuarzo y plagioclasas. también existe biotita, anfíbol y moscovita.
- ✓ Complejo Ofiolítico de la Tetilla (Klcot): La unidad está compuesta por bloques tectónicos metamórficos de diferentes protolitos litológicos que se encuentran suprayacidos en gran parte por niveles volcánicos, cenizas y flujos del cenozoico tardío de la formación Popayán. los diferentes bloques están limitados por fallas que siguen una dirección aproximada ns y e-w; por esta última razón es muy difícil conocer las relaciones estratigráficas entre los diferentes bloques.
- ✓ Complejo Quebrada grande (KCqs): Este complejo no aflora y es el basamento de la formación Popayán. es un conjunto ígneo-básico, conformado por basaltos y diques de diabasa.

- Cenozoico

El terciario está representado en las siguientes formaciones:

- ✓ Cuerpos intrusivos menores (tocd): en el área de la tetilla, pequeños cuerpos intrusivos, principalmente diques, aparecen en distintos sitios como en el cerro cascajal y la vereda la yunga, al sur del río cauca. el intrusivo la yunga, aparece con un pequeño cuerpo ígneo metamórfico que tiene como característica principal cristal de cuarzo piramidal.

- ✓ Cuerpos intrusivos menores (tmda): aparece en la confluencia de los ríos Cauca y Piedras, aflora una apófisis de pórfido dacíticos que se compone de plagioclasa, cuarzo y anfíbol.
- ✓ Miembro Julumito (TPpj). Constituido por filos de ignimbritas de Julumito y Totoró. Las ignimbritas se extienden en los alrededores de Popayán y afloran en los cañones de los ríos Cauca, Robles, Hondo y Palacé, en algunos afloramientos se observan estructuras columnares y la roca presenta una matriz de color gris brillante que encierra cristales de biotita y plagioclasa, además fragmentos angulares de obsidiana y pómez. las mejores secciones en el municipio se observan.

- Cuaternario.

Corresponde a depósitos recientes principalmente de origen volcánico-sedimentario

- ✓ Miembro Cajibío (Qpca). Lo conforman de depósitos de flujos de cenizas y pómez. Los afloramientos de este miembro son escasos y su ocurrencia es muy localizada. Se encuentran en el cauce del río las Piedras. La matriz está compuesta de ceniza blanca con cristales de Plagioclasa, Hornblenda y Biotita. En el Municipio afloran en la quebrada Santa Teresa entre la desembocadura del río las Piedras y la hacienda San Juan.
- ✓ Miembro Palacé (Qppa). Está constituido por desprendimientos de flujos de lodo, los cuales están restringidos a los cañones de los ríos y quebradas que les han servido como canal de transporte. los flujos descansan sobre el miembro Julumito, en los ríos Hondo, Piedras, Robles y Palacé en cercanías a la ciudad de Popayán. los flujos de lodo son fragmentos y bloques de andesitas con alta proporción de diabasas, basaltos y en menor cantidad de esquistos. los cantos son redondos a semi redondeados y sub angulares. la matriz es arcillo arenosa pasando a arena arcillosa. en algunos sectores presentan alto grado de meteorización.
- ✓ Flujos de Lodo y Depósitos Aluviales del río Molino (Qpm). Afloran en la parte plana o subcuenca de Popayán, se conforma de terrazas aluviales, hacia la parte superior de flujos de lodo y lahar. hacia el techo existe una capa de lahar de matriz tobácea, tamaño limo y arena infrayacida y suprayacida por terrazas aluviales. –
- ✓ Terrazas (Qtc). Terrazas recientes de los ríos Cauca, Molino, Ejido y la quebrada Pubús, son depósitos aluviales de morfología plana que por estar cerca de ríos son áreas prohibidas para construcciones.

8.1.2.2. Sistema de fallas

- Falla Mosquerillo-La Tetilla. Afectan el basamento del valle interandino o complejo Barroso-Amaime, el grupo del Cauca y la Formación Popayán. La Tetilla es un lugar situado a unos 15 km., al Noroccidente de Popayán. Estas fallas son estructuras importantes, están limitando cuerpos ofiolíticos como los del macizo los azules (Espinosa 1980), la Tetilla y la Vetica. Las fallas se encuentran interceptadas localmente por el sistema de fallas Cali-Patía.
- Fallas El Crucero y las Estrellas. Estas fallas sirven de límites al cuerpo ígneo Granitóide de Bellones, de forma alargada que se ha emplazado dentro de conjuntos metamórficos. La falla del Crucero es el límite occidental del cuerpo y la de las Estrellas es el límite oriental, pero al este de Popayán parece que únicamente afectan rocas con metamorfismo regional y allí se truncan o son interceptadas por un ramal importante de la falla Pijao-Silvia.
- Falla Río Cauca. En la parte superior correspondiente a la región del flujo de San Isidro, las evidencias de un control estructural del río son sutiles. Hacia la parte inferior del río, al Occidente de Julumito, es notable el desarrollo de valles rectilíneos, simétricos y asimétricos que constituyen buenos indicios del control estructural del río durante el Cuaternario.
- Falla de Popayán. Se extiende por algunos kilómetros desde el sector de la Vega (Sur del Departamento del Cauca) hasta el Norte de la Ciudad de Popayán. Tiene una historia de fractura miento antiguo desde el Plioceno. Presenta escarpes, silletas y otros rasgos muy marcados en vecindades de la Ciudad y hacia el Norte de esta. Un buen ejemplo es el combamiento convexo del flujo de San Isidro hacia el Barrio la Paz, que levanta unos 10 metros, el lado oeste del flujo. Al Sur de la Ciudad, los rasgos se incrementan y en algunos casos se hacen notorias las facetas triangulares, el valle de falla y silletas muy marcadas.
- Falla Julumito. Con una longitud de pocos kilómetros, se extiende desde las vecindades de la población de Rosas al Sur, hasta su intersección con la falla del río Palacé. Como la mayoría de las fallas de la zona interandina cubierta por productos fluvio-volcánicos, los rasgos morfotectónicos de esta fractura no son muy notorios aunque presenta numerosos indicios de carácter fuerte, que ponen de manifiesto su actividad neotectónica. Ver sistema de fallas en la figura 21

8.1.2.3. Geomorfología

Las formas del relieve son el resultado de varios procesos y factores, algunos externos y otros internos como son: las condiciones climatológicas, acción orgánica, latitud y altitud y otros que tienen que ver con los procesos de origen evolución de las características litológicas y estructurales del substrato rocoso.

La importancia del conocimiento de las formas del relieve, radica en que la conjugación geoforma- material parental, topografía, que incide fuertemente en la formación y procesos de evolución de los suelos y además puede incidir en el grado y tipo principal de amenaza natural. El aspecto geomorfológico es por lo tanto fundamental como aspecto determinante del tipo de cobertura vegetal, condicionando o restringiendo la posibilidad de explotación agropecuaria así como la forma y localización de los Asentamientos humanos y la infraestructura desarrollada.

La zona en donde se encuentra el Municipio de Popayán, la conforma el Valle Inter Andino del Alto Cauca, enmarcado entre el flanco occidental de la cordillera Central y el flanco oriental de la cordillera Occidental. En esta zona se presentan dos expresiones topográficas: las zonas de fuertes pendientes en los flancos de las cordilleras y una zona suavemente ondulada en el Valle Inter Andino con profundos cañones originados por la disección de las principales corrientes fluviales. Esta topografía es el resultado del levantamiento de la cadena Andina, la cual en su evolución, presenta una compleja historia de eventos metamórficos magmáticas, sedimentarios y tectónicos.

La intensa actividad volcánica, los fuertes movimientos orogénicos y la acción exógena de los agentes de intemperismo, erosión y transporte que han interactuado en la zona de estudio provocan como resultado una gran diversidad de geoformas en el Municipio de Popayán, presentándose como unidades principales: laderas de montaña, colinas, Piedemonte de montañas, valles aluviales y valles coluvio aluviales.

Con base en la caracterización geomorfológica realizada en el estudio de Microzonificación se identificaron siete unidades.

- Unidad de Flujos del Río Ejido (Tpe). Presenta colinas alargadas con pendiente variables de 6 y 40 grados (a veces verticales o convexas), drenaje subdentrítico a sub-rectangular o sub-paralelo, características geotécnicas buenas y suelos pardos y rojizos del tipo limo-arenoso a arcilloso, con profundidades entre 70 a 30 metros.
- Flujo Gris Piroclástico y Flujos de Lodo del Río Saté (Qps). Presenta suaves colinas alargadas; pendientes variables de 3 a 12 grados o de 25 a 35 grados; drenaje paralelo a subparalelo y meandriformico, suelos limo arcillosos con profundidades de 2 a 7 metros y características geotécnicas desfavorables.
- Unidades de Flujos y Depósitos Aluviales del Río Molino (Qpm). Presenta zonas planas (a excepción de los escarpes de los ríos) y condiciones geotécnicas malas a excepción de los aluviales Qtc3 y Qtm3 que presentan características

geotécnicas buenas. □ Terrazas (Qtc2, Qtm2) (Qtc1, Qtm1, Qte1 y Qtp1). Depósitos aluviales de morfología plana que por estar cerca de ríos son zonas prohibidas para construcciones.

8.1.2.4. Geología económica

En el Municipio de Popayán se presentan diferentes unidades rocosas con variado potencial económico utilizadas para diferentes industrias como la construcción, procesos metalúrgicos y obras civiles, aunque todavía se requiere desarrollar proyectos encaminados a estudiar más detalladamente la potencialidad de este recurso, a continuación se mencionan algunos aspectos generales de importancia:

- Complejo Ofiolítico de la Tetilla – Klcot. Su potencialidad económica se basa en la disponibilidad de materiales que pueden ser utilizados para la construcción como material para las cimentaciones, rellenos y afirmados de vías.
- Cuerpos Intrusivos Menores. Potencialidad económica de Material para la construcción, (algunos autores mencionan contenidos de minerales auroargentíferos).
- Miembro Julumito – TPpj. Las ignimbritas cuando se encuentran altamente meteorizadas (Arcillas y arenas de colores rosados y blancos) se utilizan en mezclas para la fabricación de ladrillos y tejas. Cuando la roca está poco alterada es utilizada como material de afirmado de vías y para su uso más común ha sido como piedra labrada, utilizada en bloques, piletas, portales, etc.
- Miembro Cajibío – Qpca. Su importancia económica radica en la disponibilidad de arenas y arcillas.
- Miembro La Venta – Qplv. Se encuentra con disponibilidad de arcilla para la construcción de tejas, ladrillos y bloques.

8.2. ESTUDIO DE SUELOS

8.2.1. Generalidades

Para determinar el alcance del presente estudio es importante aclarar que al realizar el reconocimiento de la zona, estudio topográfico y al revisar el diseño geométrico proyectado, NO se requieren obras de infraestructura vial como puentes, box culvert y muros de contención, por lo tanto el alcance del presente estudio está encaminado básicamente a realizar una investigación del comportamiento geo mecánico de los suelos, por medio de la extracción de muestras inalteradas y mediante los resultados de ensayos de laboratorio, con el fin de determinar las condiciones de estabilidad del suelo frente a su intervención generada por los movimientos de tierras (cortes y terraplenes) y brindar las recomendaciones necesarias para la cimentación de las alcantarillas proyectadas en el tramo de vía de la entrada principal de la vereda SAN BERNARDINO, en una longitud total de 230 metros lineales.

8.2.2. Recopilación de Información y Muestreo

- **Localización de los sondeos**

Se hizo el respectivo reconocimiento del sector y se observa una zona plana, estable, constituida por suelos residuales color amarillo desarrollados a partir de depósitos de flujo de ceniza, se encuentran altamente húmedos sin flujo de agua, el material presenta una plasticidad alta, superior al 80 %. Se observan construcciones de vivienda al margen de la vía.

Se escoge hacer la exploración del subsuelo a 60 metros del pavimento existente, desde donde comienza el diseño geométrico de la vía, en dirección a la variante y a los 160 metros en dicha dirección.

Se tomaron muestras inalteradas con el fin del subsuelo con el fin de obtener los parámetros geo mecánicos de resistencia de este, tal como lo fueron: CBR De Muestra Inalterada, Humedades Naturales, Pesos Unitarios Y Límites De Consistencia.

Figura 21. Tramo vereda San Bernardino



Fuente: Elaboración Propia sobre pantallazo Google Earth

▪ **Muestreo y Diagnostico técnico**

Se procedió a hacer una pequeña excavación con pala de aproximadamente un metro de lado para los dos apiques proyectados. Estos se hicieron en las abscisas $k0 + 060$ (molde 13) y en la abscisa $k0 + 160$ (molde 15) posterior a esto, se procedió a hincar el molde cilíndrico en el suelo de subrasante y así obtener la muestra inalterada que se llevó a laboratorio.

Los sondeos se hicieron a profundidades entre (0.7 – 1.0 metros), encontrando en el apique N°1 un espesor de capa en afirmado de 20 centímetros y 50 centímetros de capa de suelo orgánico, seguido de un suelo fino de color amarillo y para el segundo apique con capas de 22 y 60 centímetros respectivamente siguiendo con suelo fino color amarillo.

Tabla 6. Inventario de Apiques

Apique	Abscisa Topográfica	Descripción	Profundidad de apique(m)
#1, Molde No:13	K0 + 060	Subrasante suelo fino limoso de color Amarillo	0.7 -0.90
#2, Molde No:15	K0 +160	Subrasante suelo fino limoso de color Amarillo	0.8 – 1.0

Fuente: Elaboración Propia

Figura 22. Excavación con pala, Apique número uno



Fuente: elaboración propia

Figura 23. Extracción de la muestra inalterada



Fuente: Elaboración propia

8.2.3. Perfil Estratigráfico de suelo

Figura 24. Perfil estratigráfico, Abscisa K0 + 060



Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Perfil estratigráfico, Abcisa K0 + 160



Fuente: Elaboración Propia

8.2.4. Registro Fotográfico De Apiques

Figura 26. Excavación Abcisa k0+ 060



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Excavación Abscisa k0+ 160



Fuente: Elaboración propia

8.2.5. Resultados

El tipo de suelo de subrasante encontrado insitu, fue suelo fino limoso (MH) color amarillo, con alto índice de plasticidad, a una profundidad de 80 cm aproximadamente. Se Presentaron humedades naturales en los apiques #1 y #2 de 85.7% y 88.9 % respectivamente. Los parámetros de resistencia evaluados y ensayados a la muestra de suelo en el laboratorio, definieron un CBR de 3.4% y 3.7% a 0.1 pulgadas de penetración, índices de plasticidad del 52% y 50% para los apiques 1 y 2 respectivamente.

Teniendo en cuenta que por encima de este suelo se identificó una capa de materia orgánica con una altura de estrato considerable, debido a lo cual se prevee que la estructura del pavimento quedara soportada en dicho estrato, se recomienda hacer un reemplazo de la capa de materia orgánica y mejorar la subrasante mediante la adición de otro tipo de suelo con las condiciones adecuadas de resistencia para el soporte de la estructura del pavimento. se realizaron 5 PDC para obtener un perfil estratigráfico más representativo de tramo de vía.

Anexo 2. Resultados Ensayos de Suelos

DISEÑO GEOMÉTRICO

9. DISEÑO GEOMÉTRICO

9.1. GENERALIDADES

9.1.1. Clasificación de la Carretera

Según la funcionalidad de la vía en estudio se clasifica esta como: *Vía terciaria* y teniendo en cuenta que esta vía comunica la vereda San Bernardino con la ciudad de Popayán. (Pág. 5. Manual de Diseño Geométrico-2008"MDG-2008").

Considerando la topografía que predomina en el sector de la vía en estudio, se define el terreno como plano-ondulado ya que hay predominancia de pendientes longitudinales a lo largo de la vía menores al 7%.(Pág. 6. MDG-2008)

9.1.2. Tramo Homogéneo

Por tratarse del diseño sobre una vía existente, con limitaciones en la sección transversal, en la conservación del nivel de subrasante actual debido a las características y en la preservación de las estructuras de drenaje existentes para evitar mayor impacto ambiental en el medio con las construcciones de nuevas estructuras, el trazado se ciñe en lo posible al existente y los controles de diseño geométrico quedan establecidos por la geometría y topografía actual.

9.1.3. Velocidad de diseño

Considerando en Manual de Diseño Geométrico del Instituto Nacional de Vías de 2008 (MDG INVIAS-2008, numeral 2.1.1 y tabla 2.1) el cual considera la importancia de la vía y según las restricciones de afectación del medio, esta vía que es de orden municipal considerada como terciaria, para efectos de restricción de diseño por las condiciones ambientales se ha limitado su calificación a *terciaria*. Se ha determinado como *velocidad de diseño* de la vía 30 Kph para todo el tramo de vía considerando que es un tramo pequeño.

9.1.4. Velocidad específica

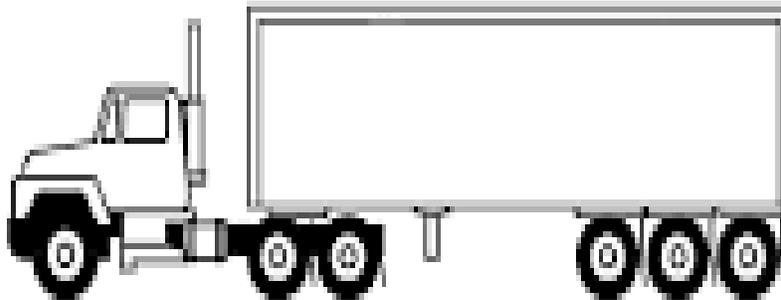
Se ha determinado para cada elemento geométrico teniendo en cuenta que la velocidad específica sea igual a la velocidad del tramo en casi toda su longitud y/o no superen la esta velocidad en más de 20km/h. Véase en el anexo 1A. Condiciones generales del diseño geométrico la asignación de la velocidad específica a cada elemento de los tramos homogéneos. Esta velocidad específica asignada tanta a las curvas horizontales, entretangencias horizontales como a las curvas verticales fue factor básico para el diseño en planta y perfil; y la asignación de la velocidad específica ha

cumplido los factores estipulados en el MDG-2008 página 40-48 ver tabla 2.2 y 2.3). se determinó una velocidad específica de 30 kmp.

9.1.5. Vehículo de diseño

Definido como aquel que representa todos los vehículos que circularán por el tramo, será un vehículo promedio entre los vehículos livianos que limitan la velocidad máxima por efectos de seguridad en el desplazamiento y los vehículos pesados que exigen amplitud en los elementos geométricos de tal manera que circulen sin restricciones de espacio y de seguridad en los mismos recorridos (Capítulo 2.2 MDG-2008). El vehículo de diseño determina las distancias de visibilidad de parada, distancias de adelantamiento (MDG-2008 tabla 2.6, 2.7, 2.8) y sobreanchos en las curvas horizontales. El vehículo definido de diseño para medir los parámetros mencionados es un camión de 2 ejes, dibujo descrito en la figura siguiente:

Figura 28. Vehículo de Diseño – Camión de tres ejes



Fuente: Manual de diseño geométrico de Carreteras

9.2. GENERALIDADES DISEÑO EN PLANTA

9.2.1. Radio mínimo

El radio mínimo utilizado considerando la Velocidad de diseño es de 21m. Los radios de cada elemento aparecen en las carteras de diseño en planta anexas.

9.2.2. Peralte máximo

El peralte máximo recomendado según la velocidad de diseño de 30 kph es de 6%, tomado de las tablas 3.4 del MDG-2008.

El peralte máximo es función de la velocidad específica y del radio de curvatura del elemento.

9.2.3. Pendiente relativa de la rampa de peraltes

Según el Manual y asumiendo la velocidad de diseño, la pendiente de los peraltes es de máximo 1.28% y mínimo 0.5% para 30 kph velocidad de diseño.

Tabla 7. Valores máximos y mínimos de la pendiente

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V _{CH}) (km/h)	PENDIENTE RELATIVA DE LA RAMPA DE PERALTES Δs	
	MÁXIMA (%)	MÍNIMA (%)
20	1.35	0.1 x a
30	1.28	
40	0.96	
50	0.77	
60	0.60	
70	0.55	
80	0.50	
90	0.47	
100	0.44	
110	0.41	
120	0.38	
130	0.38	

Fuente: Manual de Diseño Geométrico. INVIAS

9.3. GENERALIDADES DISEÑO EN PERFIL

9.3.1. Pendientes longitudinales

El valor es de 0.5 % como pendiente mínima deseable y de 7 % como pendiente máxima según capítulo 4 de MDG-2008, la pendiente mínima será la suficiente para evacuar las aguas sobre la rodadura y la pendiente máxima es aquella en la que un vehículo puede mantener la velocidad especificada.

9.3.2. Longitud mínima y máxima de tangente

La longitud mínima de la tangente vertical está definida en la tabla 4.3 del capítulo 4 del MDG-2008 y está en función de la velocidad específica del elemento.

La longitud máxima de tangente está limitada por el vehículo del cual se desea que tenga un ascenso a una velocidad constante y que en este mismo no tenga una reducción mayor a 25kph en relación con el peso/potencia del vehículo.

9.3.3. Valores de K en curvas verticales

El valor K define en el diseño vertical el criterio de seguridad, operación y drenaje.

El valor de K mínimo teniendo en cuenta la velocidad de diseño de 30 kph, es de 2 en curvas verticales convexas y de 6 en curvas verticales cóncavas véase capítulo 4 correspondiente al diseño vertical; la figura a continuación muestra los valores de K según el Manual.

Tabla 8. Valores K para el control de distancia de visibilidad

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{cv} (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)	VALORES DE K_{min}				LONGITUD MÍNIMA SEGÚN CRITERIO DE OPERACIÓN (m)
		CURVA CONVEXA		CURVA CÓNCAVA		
		CALCULADO	REDONDEADO	CALCULADO	REDONDEADO	
20	20	0.6	1.0	2.1	3.0	20 ⁽¹⁾
30	35	1.9	2.0	5.1	6.0	20 ⁽¹⁾
40	50	3.8	4.0	8.5	9.0	24
50	65	6.4	7.0	12.2	13.0	30
60	85	11.0	11.0	17.3	18.0	36
70	105	16.8	17.0	22.6	23.0	42
80	130	25.7	26.0	29.4	30.0	48
90	160	38.9	39.0	37.6	38.0	54
100	185	52.0	52.0	44.6	45.0	60
110	220	73.6	74.0	54.4	55.0	66
120	250	95.0	95.0	62.8	63.0	72
130	285	123.4	124.0	72.7	73.0	78

Fuente: Manual de Diseño Geometrico. INVIAS

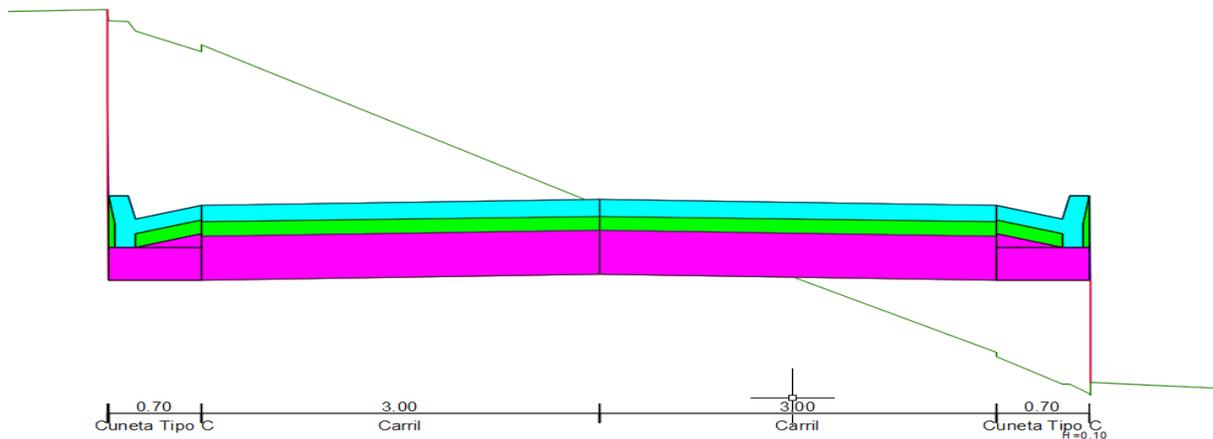
9.4. DISEÑO DE SECCIÓN TRANSVERSAL

9.4.1. Ancho de carriles y calzadas

El ancho de la calzada es de 6m, la vía es de dos carriles, contará con una berma cuneta de 0.5m y un remate de bordillo de 0.15m, para un total de berma de 1.0 m

Véase dibujo de sección transversal típica.

Figura 29. Sección transversal



Fuente: Elaboración propia sobre un pantallazo del software TOPO3.

9.4.2. Superficie de rodadura

La superficie está definida como losa en concreto hidráulico de 18 cm de espesor, sobre una capa de subbase de 15 cm de espesor.

9.4.3. Sobreebanco en las curvas

En curvas menores de 160 m se colocará un sobreebanco sobre la curva interna según el MDG-2008 y teniendo como base un vehículo de diseño de 2 ejes.

El sobreebanco para el tipo de carretera en cuestión está dado por la siguiente fórmula:

$$S = n \times \left(R_C - \sqrt{R_C^2 - L^2} \right)$$

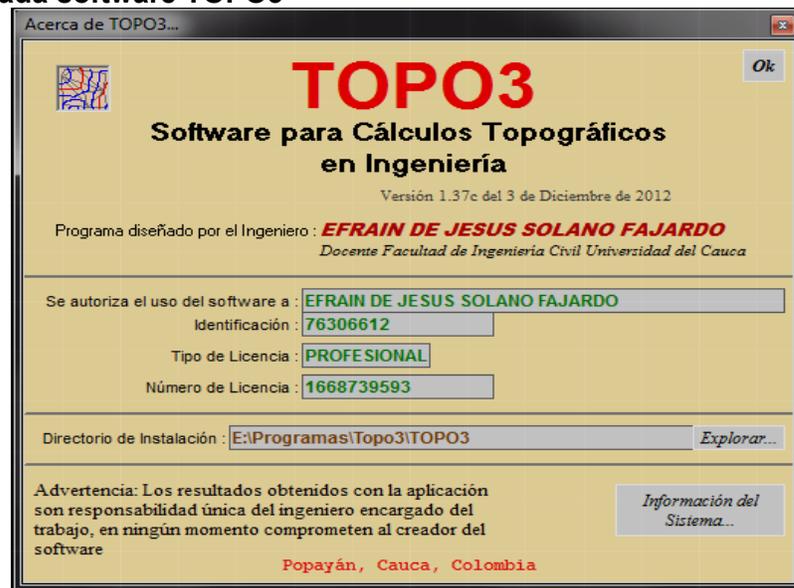
Siendo S el sobre ancho en metros, n el número de carriles, Rc el radio de la curva horizontal y L la longitud distancia entre el parachoques delantero y el eje trasero del vehículo tipo, en este caso L=8m.

9.5. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Como se indicó anteriormente, el diseño se ciñó a la vía existente, teniendo un ancho de zona predominante de 7.30 metros, aunque en algunos tramos se presentaba un ancho mayor.

El levantamiento se elaboró con el programa de diseño geométrico TOPO 3, de autoría del Ing. Efraín Solano Docente Universidad del Cauca.

Figura 30. Portada software TOPO3



Fuente: Elaboración propia sobre un pantallazo del software TOPO3.

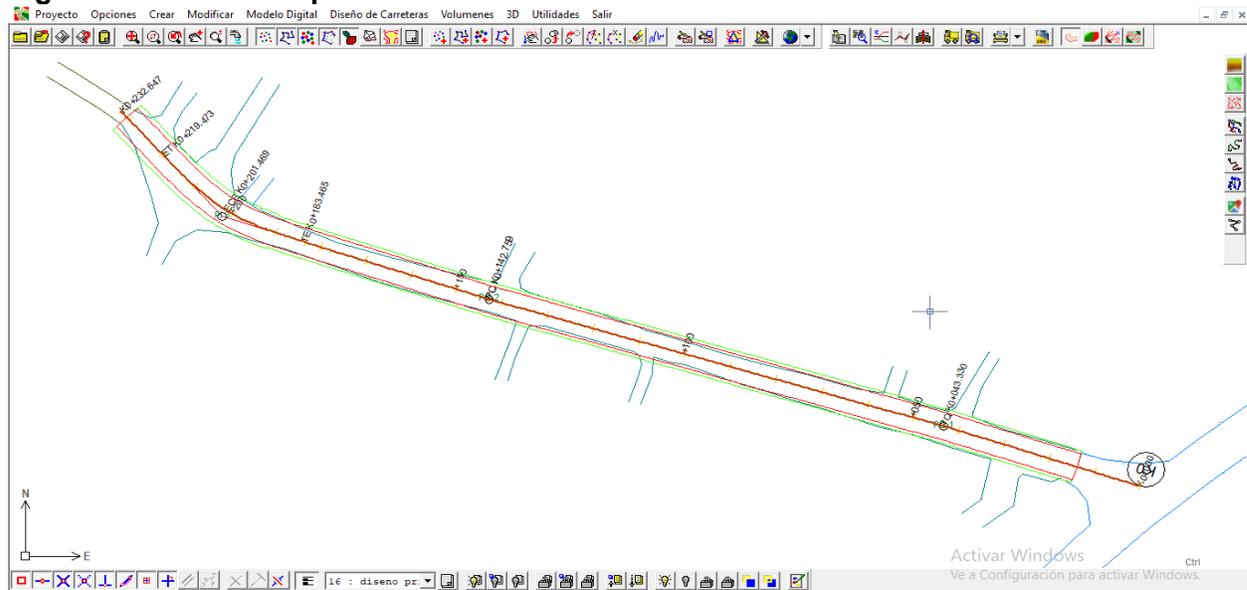
El programa está avalado por el Departamento de Vías y Transporte adscrito a la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca. Existe la versión profesional, pero se ofrece la versión académica para efectos de enseñanza en el Programa de Ingeniería civil y Especialización el Vías Terrestres.

9.6. DISEÑO EN PLANTA

Se siguió lo más cercano posible el eje existente de la vía, manteniendo el eje proyectado y los bordes dentro de la vía existente y teniendo en cuenta los cercos que delimitan propiedades privadas en el sector, así como también los paramentos de las

construcciones existentes siguiendo las especificaciones del Manual, se trató de controlar las entre tangencias, se colocaron 2 PQ para ceñir el diseño lo máximo posible a la vía existente. Dado que es un tramo en su mayoría recto se ubicó una sola curva al final del tramo con un radio de 35 metros.

Figura 31. Diseño en planta



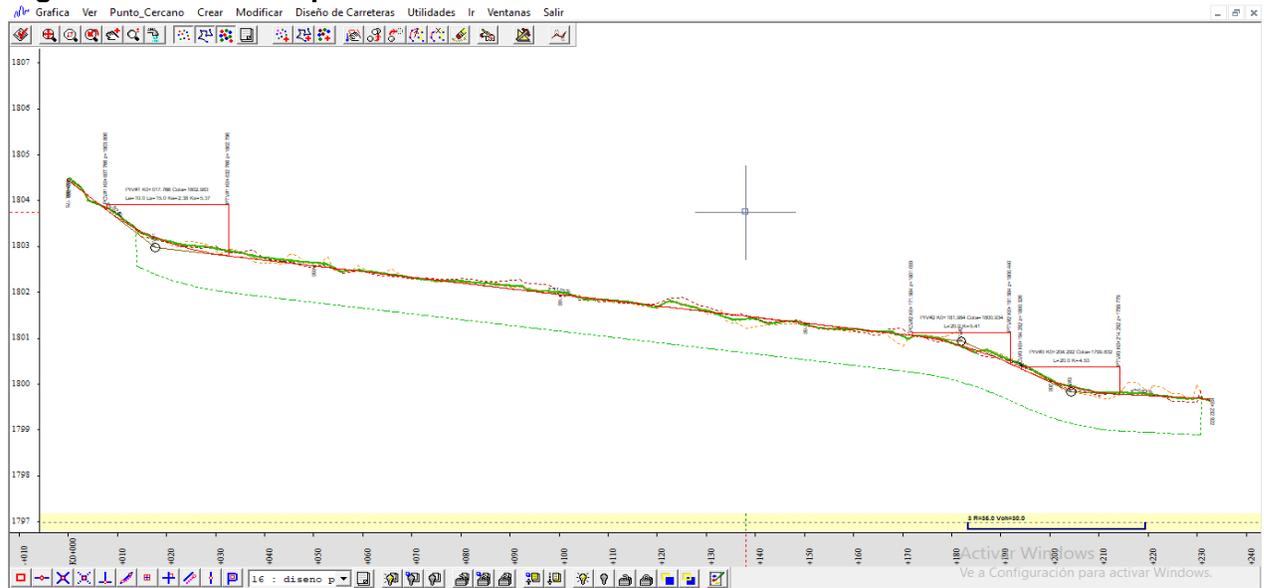
Fuente: Elaboración propia sobre un pantallazo del software TOPO3.

Observación: debido a que el diseño se proyectó para realizar el empalme con la placa huella, pero al verificar los parámetros de diseño respecto al peralte de la curva se evidencia que no se cumple con la rampa máxima de peralte; por lo cual se propone modificar el alineamiento tomando 4 metros del inicio de la placa huella cumpliendo así con el buen desarrollo de peraltado.

9.7. DISEÑO EN PERFIL

El diseño se realizó lo más sesgado posible a la superficie actual de la vía; asumida esta como la rasante y sobre esta capa la estructura del pavimento la cual consta de 18 cm de subbase y 15 cm de losa de concreto. Con el objeto de ofrecer una vía segura, se siguieron los parámetros dados en el Manual de Diseño en perfil, como son distancia de visibilidad, longitud mínima de curvas verticales. Al inicio y al final del tramo se debió hacer un empalme con la vía existente; Al inicio se realizó el empalme del tramo de vía a pavimentar y la vía panamericana, al final del alineamiento, se diseñó un empalme debido a que el tramo contiguo está pavimentado en un sistema de placa huella.

Figura 32. Diseño en perfil



Fuente: Elaboración propia sobre un pantallazo del software TOPO3

9.8. CÁLCULO DE COORDENADAS PARA LOCALIZACIÓN

La cartera de coordenadas para localización se procesó con el Programa TOPO3 y presenta tanto las coordenadas del eje como las coordenadas chaflanes, en cada una de las abscisas necesarias para localizar el proyecto. Las carteras de coordenadas están anexas en formato físico en la presentación del presente informe.

Observación: teniendo en cuenta el estado actual de la vía, en la entrada principal se propone hacer un empalme para aprovechar la estructura de pavimento que se encuentra actualmente, como se especifica en el plano de perfil el empalme se diseñó en la abscisa K0+13.9 y un empalme al final del tramo en la abscisa K0+230.8 Con cotas de 1803.397 y 1799.696 mmsm respectivamente.

Anexo 3. Planos Planta – Perfil de la vía

Anexo 4. Cartera de rasante de la vía

ESTUDIO HIDRÁULICO E
HIDROLÓGICO

10. ESTUDIO HIDROLÓGICO

10.1. HIDROLOGÍA

Figura 33. Vereda San Bernardino



Fuente: elaboración propia sobre pantallazo Google Earth

La presencia y el movimiento del agua en el planeta permiten la existencia de vida en él, el agua circula permanentemente tanto de un lugar a otro al igual que de un estado físico a otro en una sucesión cíclica de procesos; por ello se considera a la hidrosfera como un sistema dinámico con continuos movimientos y cambios de esta.

La escorrentía superficial producida en las precipitaciones atmosféricas intensas son la principal causa de daños a la calzada de una vía sobre todo cuando esta se encuentra con una escasa o nula protección de su calzada como es el caso de la vía en mención, por esto es necesario diseñar un sistema de canalización superficial destinado a recogerla y evacuarla eficientemente en el menor tiempo posible, para su correcto diseño se deben considerar varios factores como:

- . Factores topográficos.
- . Factores hidrológicos.
- . Factores geológicos.
- . Factores geotécnicos.
- . Obras de protección necesarias.

Es de vital importancia analizar los caudales de máximas crecidas dentro de un periodo de retorno dado, para dimensionar los sistemas de desagüe como alcantarillas, pontones y cunetas, para reducir y evitar daños en las obras viales sobre la calzada.

▪ **RECOLECCION Y ANALISIS DE INFORMACION HIDROMETRICA Y METEREOLÓGICA DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

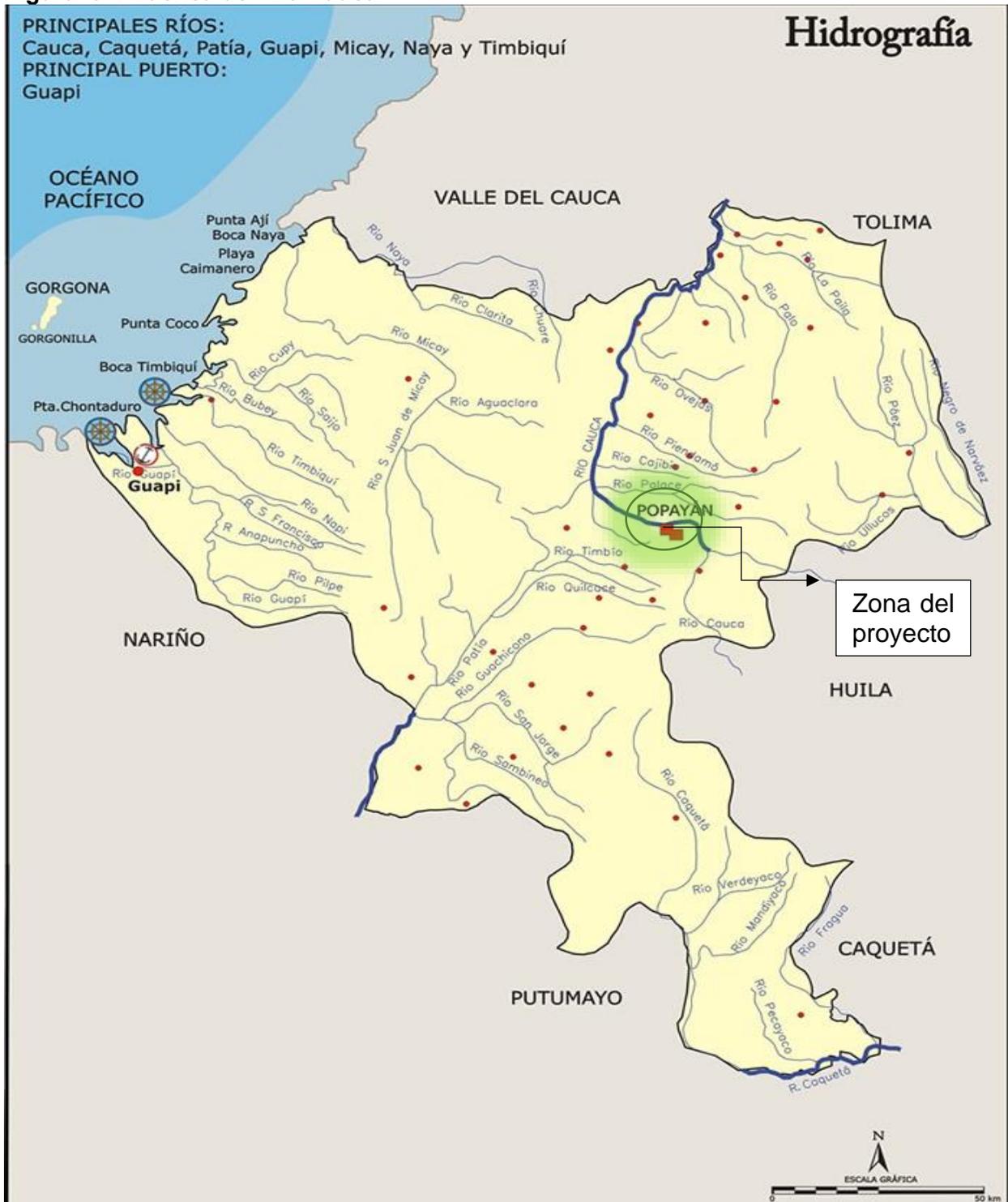
La hidrogeología estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con su circulación, sus condicionamientos geológicos y su captación. En la actualidad los estudios hidrogeológicos no solo sirven para la provisión de agua a la población, sino para atender el ciclo vital de algunos elementos químicos, así como para evaluar el ciclo de las sustancias contaminantes, su movilidad, dispersión y la manera en que afectan al medio ambiente.

En el Cauca se encuentran tres de las seis provincias hidrogeológicas establecidas en el país:

- ✓ Provincia Andina vertiente Atlántica
- ✓ Provincia del Amazonas
- ✓ Provincia costera vertiente Pacífica

Del siguiente mapa se puede inferir que la región en donde se construye el proyecto es una región compuesta de rocas volcánicas, ígneas y metamórficas.

Figura 34. Cuenca del Rio Cauca



Fuente: Mapa proporcionado por CEDELCA

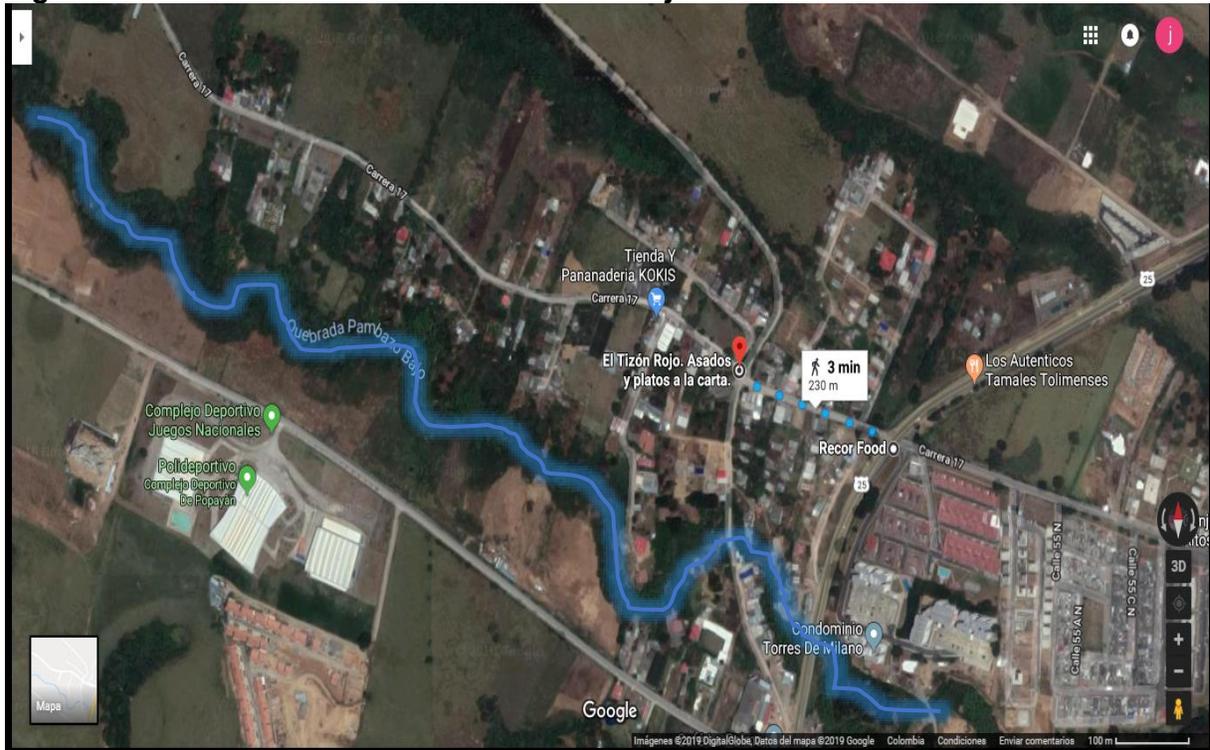
10.2. HIDROLOGÍA DE LA VEREDA SAN BERNARDINO

La lluvia se destaca como uno de los elementos de mayor influencia en la caracterización climática de una región. Las diferentes condiciones topográficas del territorio del municipio de Popayán y el desplazamiento de la ZCIT en el año hacen que la distribución temporal y espacial de las lluvias se presente de forma irregular.

El municipio de Popayán se encuentra localizado en el valle de Pubenza, entre la Cordillera Occidental y Central al suroccidente del país. Su precipitación media anual de 1.941 mm. Por estar a una altura de 1.737 msnm (medidos en la plazuela de la iglesia de San Francisco) y muy cerca al Ecuador tiene una temperatura media de 18-19 °C durante todo el año, alcanzando temperaturas máximas en los meses de julio, agosto y septiembre en horas del mediodía -hasta 29 °C- y mínimas de 10 °C en horas de la madrugada en verano. Dentro del Municipio de Popayán se encuentra la Vereda San Bernardino al Norte de la ciudad.

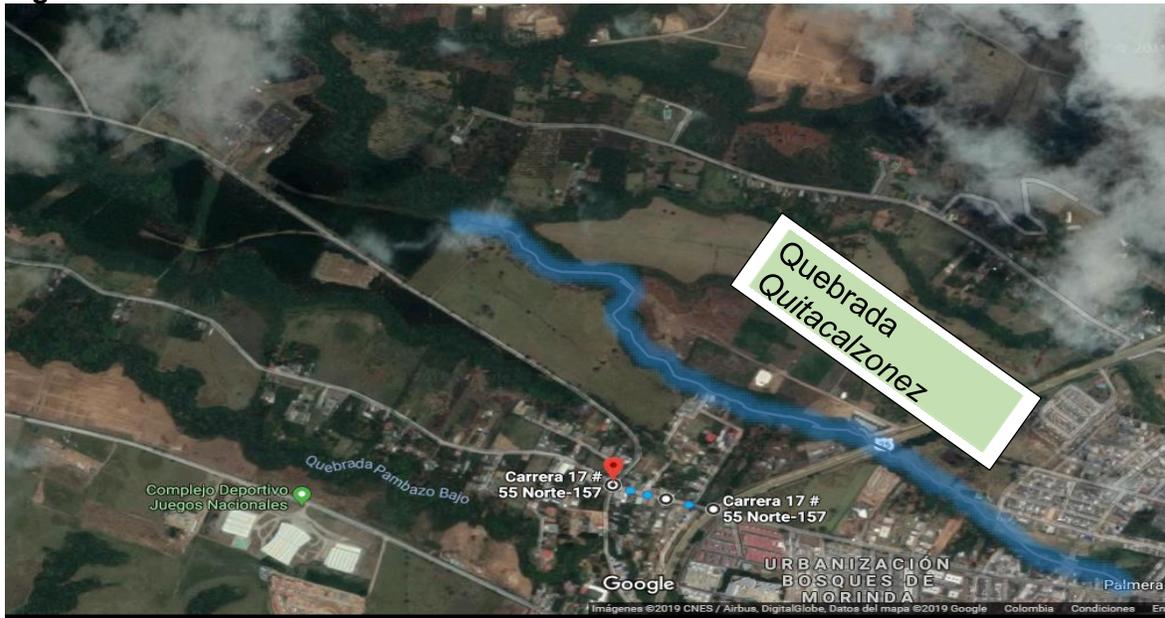
Esta vía en su recorrido de la vía no se encuentra ningún riachuelo o quebrada. En el sector se visibiliza la **Quebrada Pambazo Bajo** a un lado del tramo de vía a intervenir, pero estos se encuentran a unos 500 metros de la vía, de manera que no interviene directamente en esta.

Figura 35. Cuenca de la Quebrada Pambazo Bajo



Fuente: Google Maps

Figura 36. Cuenca de la Quebrada Quitacalzonez

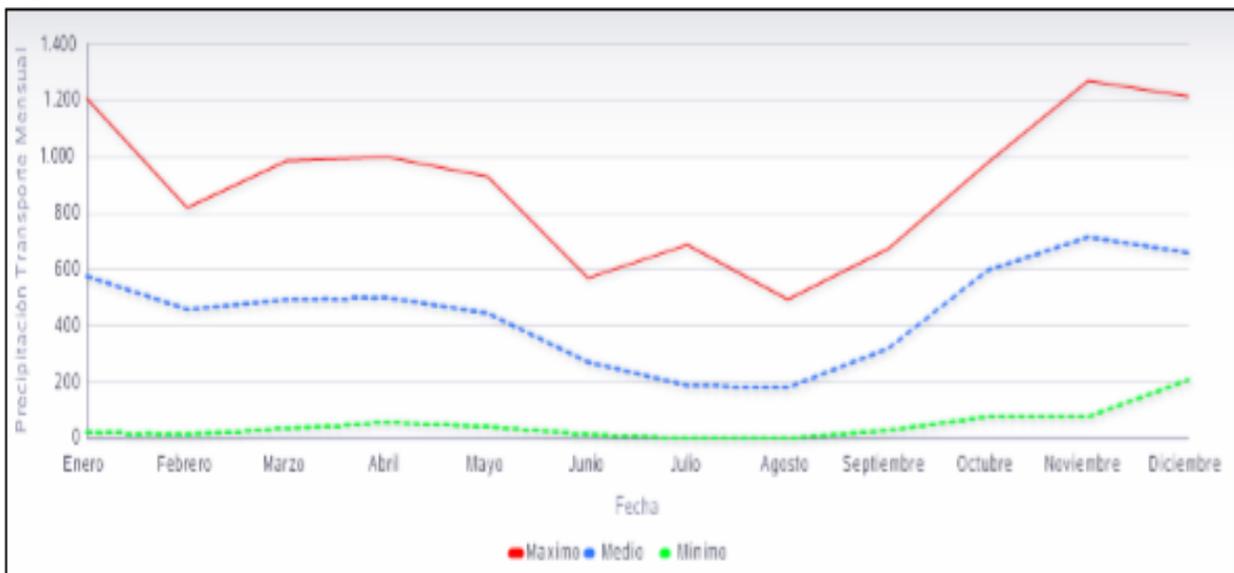


Fuente: Google Maps

10.3. PRECIPITACIÓN

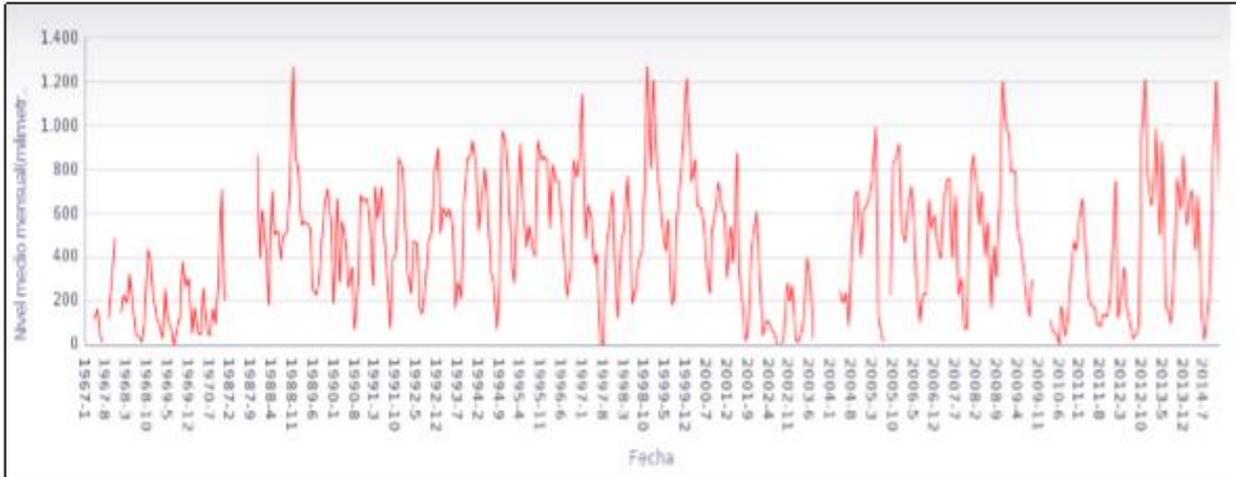
Se muestran las gráficas de precipitación anual, donde se perciben fluctuaciones de tendencias de la estación entre el transporte mensual y diario, lo que dificulta la identificación de los años húmedos y secos relacionados a la variabilidad climática en la zona.

Figura 37. Gráfica multianual mensual



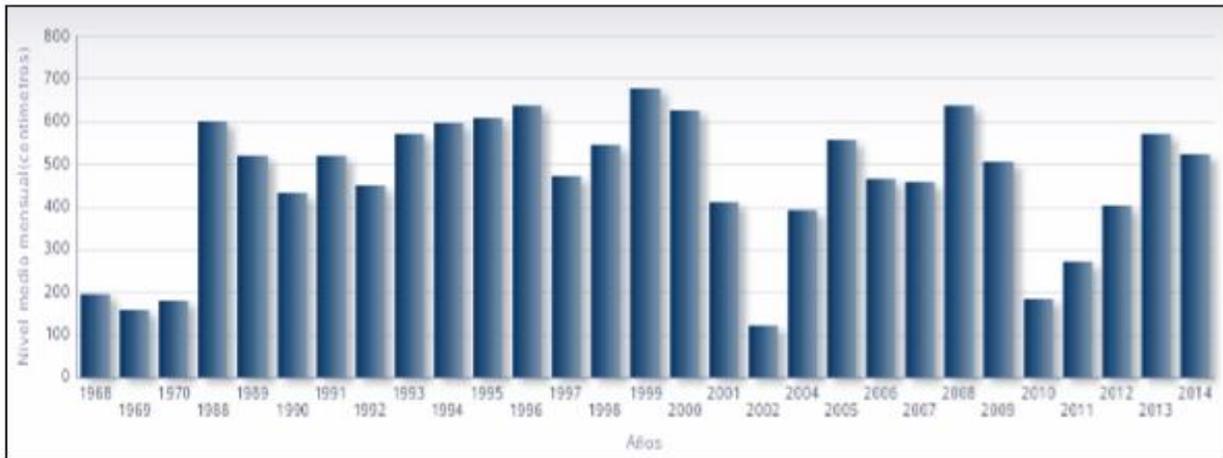
Fuente: IDEAM

Figura 38. Serie histórica mensual



Fuente: IDEAM

Figura 39. Serie anual mensual



Fuente: IDEAM

10.4. PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS

Se solicitó la información correspondiente a los valores mensuales de precipitación máxima en 24 horas, suministrada por el IDEAM, este registro se obtiene de la información pluviométrica que abarca el periodo de 1941 a 2017 tal como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Descripción general estación pluviométrica

ESTACIÓN FLUVIAL AEROPUERTO GUILLERMO LEON VALENCIA					
Fecha de proceso	2019/01/0	ESTACIÓN	26035 30 APTO G L VALENCIA	Departamento	CAUCA
ALTITUD	227 N	TIPO DE ESTACIÓN	sp	Municipio	POPAYAN
LONGITUD	7636 W	ENTIDAD	01 IDEAM	Corriente	CAUCA
ELEVACIÓN	1749 m.s.n.m	REGIONAL	09 Valle - Quindio	INSTALACIÓN	N 1941 - J

Fuente: elaboración propia

Tabla 10. Valores máximos de precipitación en 24 horas

AÑO	PRECIPITACION (mm)	AÑO	PRECIPITACION (mm)	AÑO	PRECIPITACION (mm)
1941	46	1967	85	1993	97.1
1942	153	1968	85	1994	64.6
1943	45	1969	66	1995	88
1944	76.4	1970	65	1996	84.4
1945	63.7	1971	94	1997	102.8
1946	77.4	1972	61	1998	64.1
1947	42.5	1973	135	1999	76.2
1948	70.4	1974	90.2	2000	85.5
1949	75.3	1975	73.4	2001	84
1950	106	1976	78.6	2002	46.6
1951	45.2	1977	73.4	2003	70.5
1952	78.4	1978	85.1	2004	86.2
1953	74.3	1979	85.4	2005	68.5
1954	75.2	1980	61.9	2006	59.2
1955	83.2	1981	65.8	2007	101.8
1956	82.3	1982	66.8	2008	78
1957	125	1983	108	2009	80
1958	70.3	1984	87.4	2010	74
1959	68.2	1985	78.4	2011	75
1960	180.7	1986	80.4	2012	63
1961	80	1987	66.2	2013	65
1962	80	1988	58.4	2014	125
1963	71	1989	75.2	2015	58
1964	83	1990	69	2016	65.6
1965	69	1991	66.2	2017	98
1966	63	1992	125.8		

Fuente: elaboración propia

$$P_{max} = 180.7 \text{ mm}$$

$$P_{maxprom} = 79.64 \text{ mm}$$

10.5. PRECIPITACIÓN MENSUAL

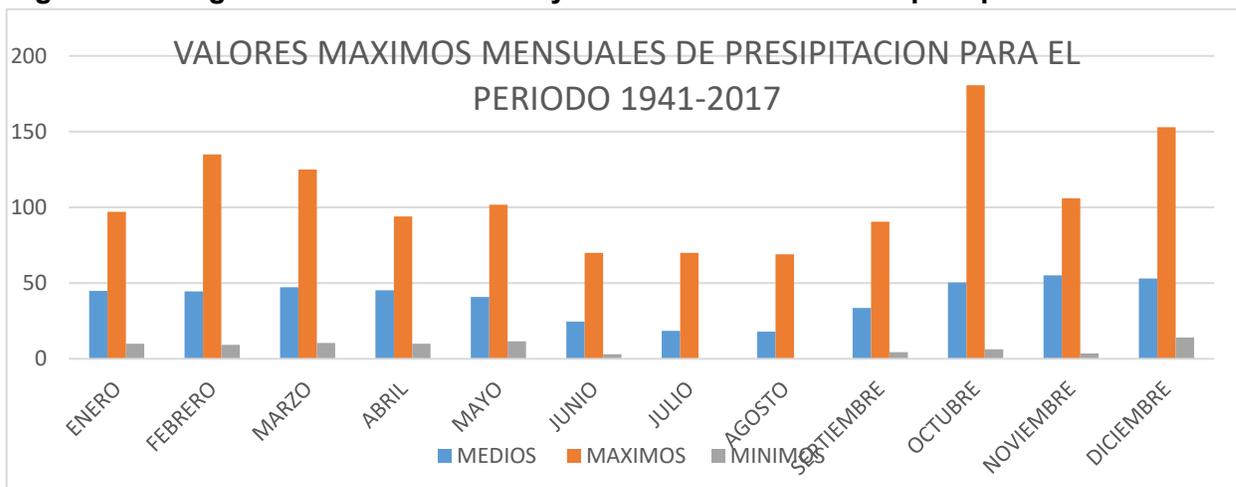
De acuerdo a los registros de la estación Aeropuerto Guillermo León Valencia de Popayán del IDEAM para el período 1941-2017 el valor máximo mensual de precipitación en 24 horas se dio en el mes de octubre de 1960 con una precipitación de 180.7 mm. Se puede deducir que la interacción de la zona de confluencia intertropical ZCIT con el relieve andino, propicia el régimen bimodal en Popayán, caracterizándose el segundo período de lluvias con la de mayor magnitud y los meses de julio, agosto y septiembre de mayor déficit de agua.

Tabla 11. Valores Máximos y Mínimos mensuales de precipitación

	MAXIMOS	MEDIOS	MINIMOS
ENERO	97.1	44.9	10
FEBRERO	135	44.5	9.2
MARZO	125	47.3	10.5
ABRIL	94	45.3	10
MAYO	101.8	40.9	11.5
JUNIO	70	24.6	3
JULIO	70	18.5	0
AGOSTO	69	18	0
SEPTIEMBRE	90.6	33.6	4.4
OCTUBRE	<u>180.7</u>	50.4	6.3
NOVIEMBRE	106	55.1	3.6
DICIEMBRE	153	53	14.1

Fuente: Estación Pluviométrica Guillermo León Valencia

Figura 40. Diagrama Valores Máximos y Mínimos mensuales de precipitación



Fuente: Elaboración propia.

10.6. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Teniendo en cuenta que las áreas aferentes a las obras hidráulicas de la vía son áreas pequeñas, los coeficientes de escorrentía se definieron con base en la inspección y el recorrido realizado, donde se identificó la cobertura de las áreas de drenaje y se asoció un coeficiente de escorrentía de acuerdo con el Invias, 2009 .

Tabla 12. Valores del coeficiente de escorrentía

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82

Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.

Fuente: Manual de drenaje de carreteras

10.7. PERIODOS DE RETORNO

De acuerdo al manual de drenaje para carreteras del Invias, se escogen los periodos de retorno, para obtener las intensidades de diseño de las obras de acuerdo a la siguiente tabla:

Figura 41. Periodos de diseño en obras de drenaje vial

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Caída ²	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente : Manual de drenaje para carreteras del INVIAS

10.8. CURVAS DE INTENSIDAD FRECUENCIA Y DURACIÓN - IDF

La intensidad de la lluvia es calculada a través de curvas de Intensidad – Frecuencia – Duración (IFD) y depende directamente del tiempo de concentración de la cuenca y el periodo de retorno. Cuando se utiliza la fórmula racional, se debe suponer que el caudal máximo ocasionado por una determinada intensidad del aguacero de diseño sobre un área de drenaje específica, es producido por el referido aguacero, el cual se prolonga durante un período de tiempo igual al tiempo de concentración del flujo en el punto bajo consideración.

Técnicamente, se define este último como el tiempo de concentración, TC, el cual es el tiempo requerido para que la escorrentía superficial llegue al punto bajo consideración desde la parte más apartada del área de drenaje; y para el periodo de retorno deseado, se calcula la intensidad de lluvia máxima correspondiente a esa duración y a ese periodo de retorno, mediante relaciones intensidad-duración-frecuencia aplicables a la cuenca vertiente (Hidrología, sfp).

Las curvas intensidad-duración-frecuencia IDF, son arreglos en los cuales se presentan las lluvias (estimadas como intensidad de precipitación) contra su duración y el periodo de retorno (INVIAS, 2009).

Para el cálculo de las “CURVAS SINTÉTICAS REGIONALIZADAS DE INTENSIDAD-FRECUENCIA – DURACIÓN”, se utiliza la siguiente expresión (Vargas y Díaz, 1998):

$$I = a * \frac{T^b}{t} * M^d$$

En donde:

I: Intensidad de precipitación, mm/h

T: Período de retorno, años

t: Duración de la lluvia

M: Precipitación máxima anual promedia en 24h, mm

a, b, c, d: Parámetros los cuales dependen de la ubicación geográfica dentro de Colombia

La zona del proyecto se encuentra ubicada en el Departamento del Cauca que se encuentra en la región Andina de Colombia, los valores para las constantes a, b, c, d, e, f, correspondientes son: a= 0.94; b = 0.18; c = 0.66; d= 0.83.

Tabla 13. coeficientes a, b, c y d para el cálculo de curvas I-D-F para Colombia

Región	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacifico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquia (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Manual de drenaje para carreteras INVIAS.

Al aplicar la fórmula regionalizada de las curvas IDF para Colombia y con el valor de la media de los datos para las estaciones APTO GL VALENCIA que es de **79.639** mm se tiene que:

$$I = 0.94 * \frac{T^{0.18}}{\left(\frac{t}{60}\right)^{0.66}} * 79.639^{0.83}$$

10.9. HIDRÁULICA DEL DRENAJE SUPERFICIAL

10.9.1. Cunetas

Las cunetas son estructuras de drenaje que captan las aguas de escorrentía superficial proveniente de la plataforma de la vía y de los taludes de corte, conduciéndolas longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición.

10.9.1.1. Caudal de diseño

El método de la fórmula racional permite hacer estimaciones de los caudales máximos de escorrentía usando las intensidades máximas de precipitación. Básicamente, se formula que el caudal máximo de escorrentía es directamente proporcional a la intensidad máxima Q_e la lluvia para un período de duración igual al tiempo de concentración y al área de la cuenca.

Al utilizar la formula racional, se supone que el caudal toma un valor de caudal máximo pico Q_p , cuando, debido a una cierta intensidad de lluvia sobre el área de drenaje, es producido por esa precipitación que se mantiene por un tiempo igual al periodo de concentración del caudal en el punto en consideración (INVIAS, 2009).

La ecuación que define la formula racional, considera que toda la cuenca estará contribuyendo a formar el caudal de la escorrentía cuando transcurre todo el tiempo de concentración de la cuenca, así, el caudal calculado en consecuencia corresponde al valor máximo. Por lo tanto:

$$Q=C*I*A$$

Q = Caudal en l/s.

C = Coeficiente de escorrentía.

I = Intensidad en l/s/ha.

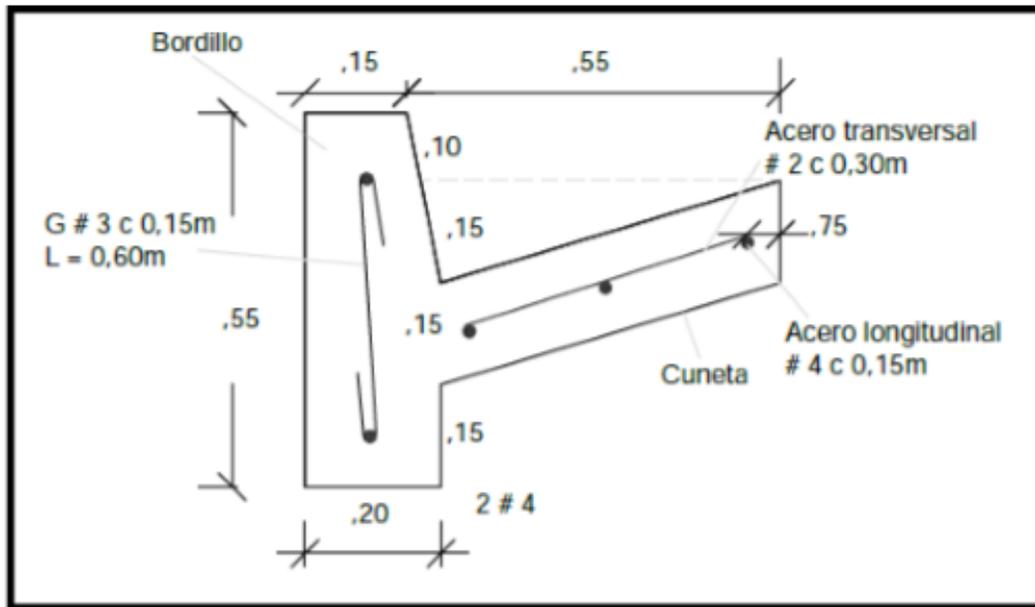
A = Área drenada en Has.

10.9.1.2. Tipo de sección y seguridad vial

La sección transversal de la vía y dentro de ella la de la cuneta, juega un papel fundamental en la seguridad vial, por lo que, al proyectar las cunetas con una determinada sección, este aspecto debe ser considerado.

En ese orden de ideas y teniendo en cuenta las recomendaciones del diseño geométrico y que la vía se ubica en una zona donde es necesario colocar berma – cuneta, al ser una vía terciaria en zona plana y considerando la longitud transversal de la vía actual que es un poco estrecha se propone que el drenaje longitudinal de la vía se haga con la siguiente sección:

Figura 42. Sección cuneta tipo



Fuente: Guía de diseño de pavimentos con placa huella INVIAS

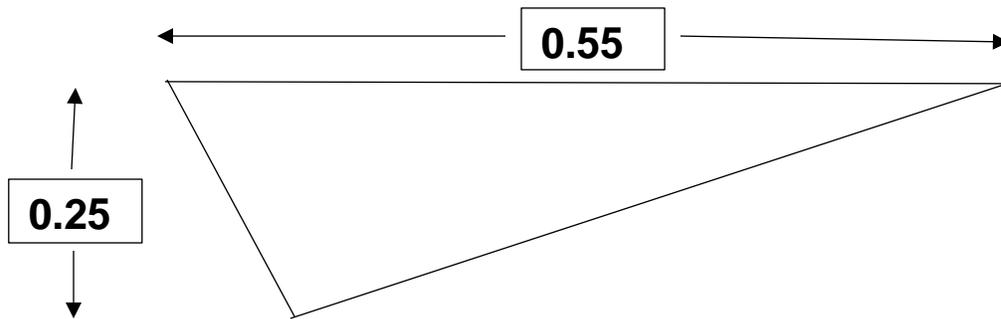
Se utilizan cunetas de concreto de sección transversal de forma triangular, su uso depende del caudal, pendiente y espacio disponible. A la cuneta se le determina una función de capacidad que relaciona la pendiente y el caudal.

En la figura anterior se presenta una sección de berma- cuneta para un sistema de placa huella que se toma como las mínimas dimensiones para cumplir con los requerimientos hidráulicos de INVIAS.

10.9.1.3. Funcionamiento hidráulico

- SIN CONSIDERACION DE VELOCIDAD

Figura 43. Lámina de agua en la berma-cuneta.



Fuente: Guía de Pavimentos con Placa-Huella.

Tiene las siguientes características hidráulicas y geométricas:

$$\text{Ancho total} = 0.55 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad} = 0.25 \text{ m}$$

Parámetros:

$$\text{Área hidraulica} = \frac{0.55 \cdot 0.25}{2} = 0.06875 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado: Para hallar este valor es necesario aplicar trigonometría para despejar el valor de las hipotenusas mayor y menor, la cual es la que se dirige hacia la vía y hacia el talud respectivamente.

$$P = (0.559) + (0.255) = 0.784 \text{ m}$$

$$\text{Radio hidraulico} = \frac{A}{P} = \frac{0.0688}{0.784} = 0.0878 \text{ m}$$

$$R^{2/3} = 0.0878^{2/3} = 0.197$$

El diseño hidráulico de la cuneta consiste en verificar que la capacidad de la estructura sea superior al caudal de diseño.

Para ello, el caudal de diseño, es decir el caudal hidrológico se iguala a la capacidad de la cuneta es decir al caudal hidráulico estimado con la expresión de Manning y se despeja una función de longitud máxima de cuneta que corresponde a la separación máxima entre alcantarillas en términos de pendiente.

$$Q_{\text{hidrológico}} = Q_{\text{hidráulico}}$$

$$2.78 \times 10^{-6} \times C \times I \times A = V_{\text{cuneta}} \times A_{\text{cuneta}}$$

$$2.78 \times 10^{-6} \times C \times I \times B \times Lm = \frac{R^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \times A_{\text{cuneta}}$$

$$\therefore Lm = \frac{R^{2/3} \times S^{1/2} \times A_{\text{cuneta}}}{2.78 \times C \times I \times B \times n}$$

En donde:

R= Radio hidráulico

S= Pendiente longitudinal

A_{cuneta}= Área hidráulica de la cuneta llena (m)

C=Coficiente de escorrentia de la sección tipo

I= Intensidad de lluvia de diseño m/s

B= Ancho de impluvium (3 metros)

N= Coeficiente de rugosidad de Manning

Con el fin de reducir la infiltración, la cual puede afectar la estructura misma del pavimento, prevenir crecimientos vegetales y ser acorde al diseño geométrico, la cuneta deberá ser construida en concreto reforzado de 21 Mpa.

$$n_{\text{concreto}} = 0.014$$

El ancho de impluvium es de 5 metros a cada lado de la vía aproximadamente, teniendo en cuenta el caudal pluvial de las construcciones adyacentes, no se evidencia taludes naturales que recogen lluvias superficiales. El coeficiente de escorrentia para la zona es de:

$$C = 0.4$$

Y del estudio hidrológico se obtiene la intensidad de lluvia de diseño con un periodo de retorno de 5 años y una concentración de tiempo de 15 minutos, para cunetas:

$$I = 118.64 \text{ mm}/H = 3.295 \times 10^{-5} \text{ m}/s$$

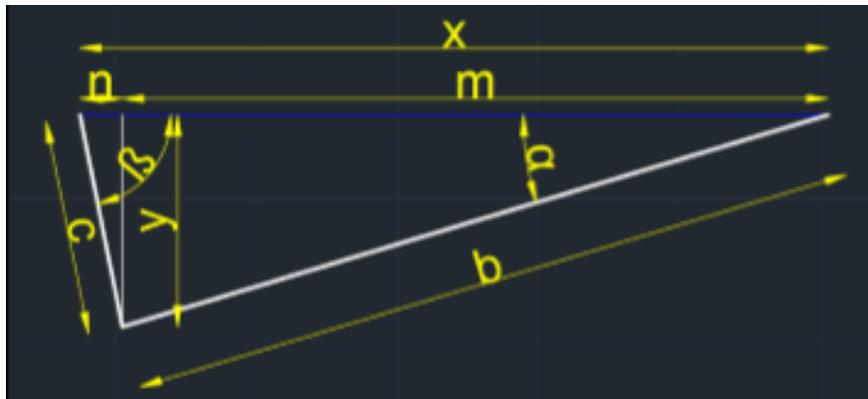
Por lo tanto, la función resultante es:

$$Lm = 368 \times S^{0.5}$$

- CON RESTRICCIÓN DE VELOCIDAD

Se considera una velocidad de erosión del concreto hidráulico de 6 m/s, sin embargo, varios tratadistas limitan la velocidad en las cunetas entre 3 y 4 m/s. Para el presente caso se adopta el valor más seguro de 3 m/s.

Figura 44. Variables geométricas de la sección



Fuente: Elaboración propia

$$\tan \alpha = 0.3$$

$$\tan \beta = 5$$

$$\sin \alpha = 0.28$$

$$\sin \beta = 0.98$$

Se calculan los parámetros hidráulicos en función de y según la geometría de la cuneta:

$$x = m + n$$

Área

$$A = \frac{x \cdot y}{2} = \frac{(m+n) \cdot y}{2}$$

$$A = 1.77 \cdot Y$$

Perímetro

$$P = b + c$$

$$P = 4.5 * Y$$

Radio Hidráulico

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = 0.39 * Y$$

Como

$$Q_{hidraulico} = V \times A_{cuneta} \text{ y } Q_{Manning} = (A_{cuneta} \times R^{2/3} \times S^{1/2}) / 10 \times n$$

donde la velocidad de diseño es 3 m/sy despejando el radio hidráulico se tiene,

$$R = \frac{0.2722}{S^{3/4}}$$

El radio hidráulico es igual a 0.39* Y igualando ecuaciones se tiene:

$$Y = \frac{0.6933}{S^{3/4}}$$

El área es igual a 1.77* Y se reemplaza y:

$$A = \frac{0.849}{S^{3/2}}$$

Finalmente $Q = V \times A$

$$Q_{hidrológico} = Q_{hidráulico}$$

$$2.78 \times 10^{-7} \times C \times I \times A = 3 \times A_{cuneta}$$

$$A_{cuneta} = B \times Lm$$

Reemplazando y despejando de tien,

$$Lm = \frac{64353.43}{S^{3/2}} \text{ m}$$

Igualando las dos longitudes de cuneta se tiene,

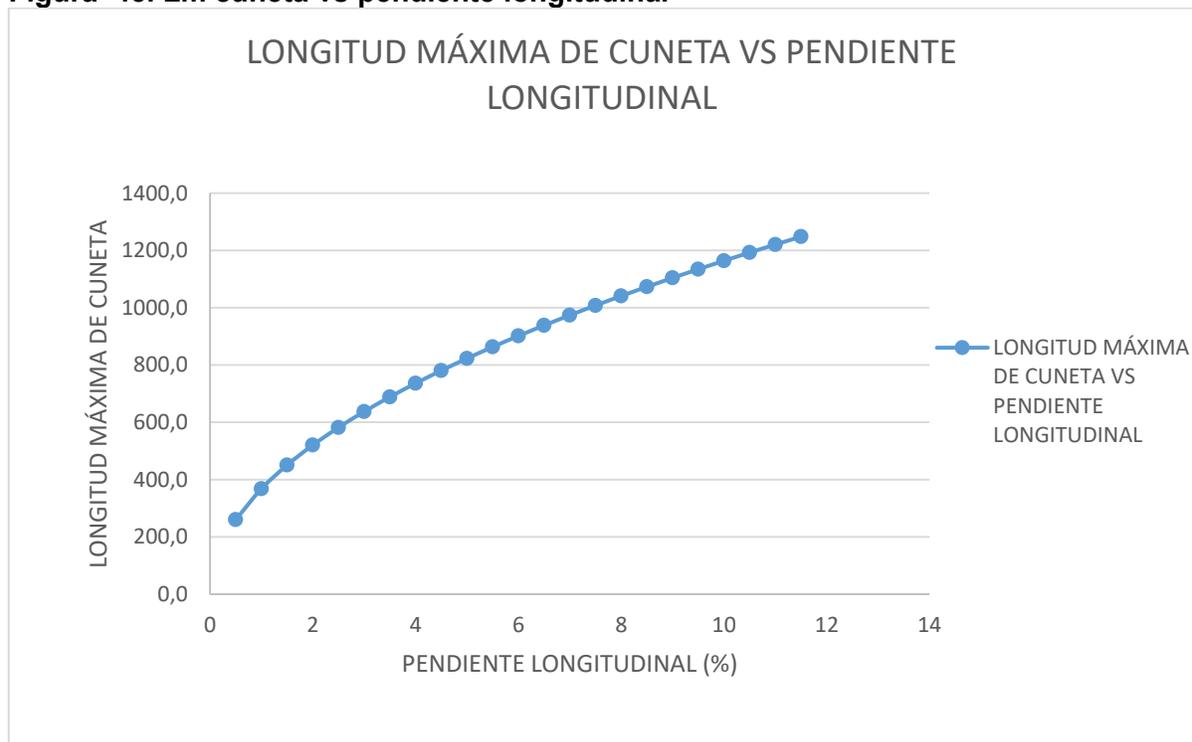
$$368 \times S^{0.5} = \frac{20386.03}{S^{3/2}}$$

Por lo tanto,

$$\text{Scritica} = 13.23\%$$

Este resultado se interpreta como la pendiente donde la longitud de cuneta alcanza su máximo valor, a medida que vaya aumentando la pendiente desde este punto la cuneta ira disminuyendo su longitud nuevamente, con la premisa de controlar la velocidad del flujo para evitar la erosión de la misma.

Figura 45. Lm cuneta vs pendiente longitudinal



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Datos gráfica Lm vs pendiente longitudinal

So(%)	Lm (m)	So(%)	Lm (m)
0.5	260.22	7.5	1007.81
1	368.00	8	1040.86
1.5	450.71	8.5	1072.90
2	520.43	9	1104.00
2.5	581.86	9.5	1134.25
3	637.39	10	1163.72
3.5	688.46	10.5	1192.46
4	736.00	11	1220.52
4.5	780.65	11.5	1247.95
5	822.87	12	1274.79
5.5	863.04	12.5	1301.08
6	901.41	13	1326.84
6.5	938.22	13.5	1352.12
7	973.64		

Fuente: Elaboración Propia

Se procede a calcular el caudal a trasportar en función de la longitud de la cuneta.

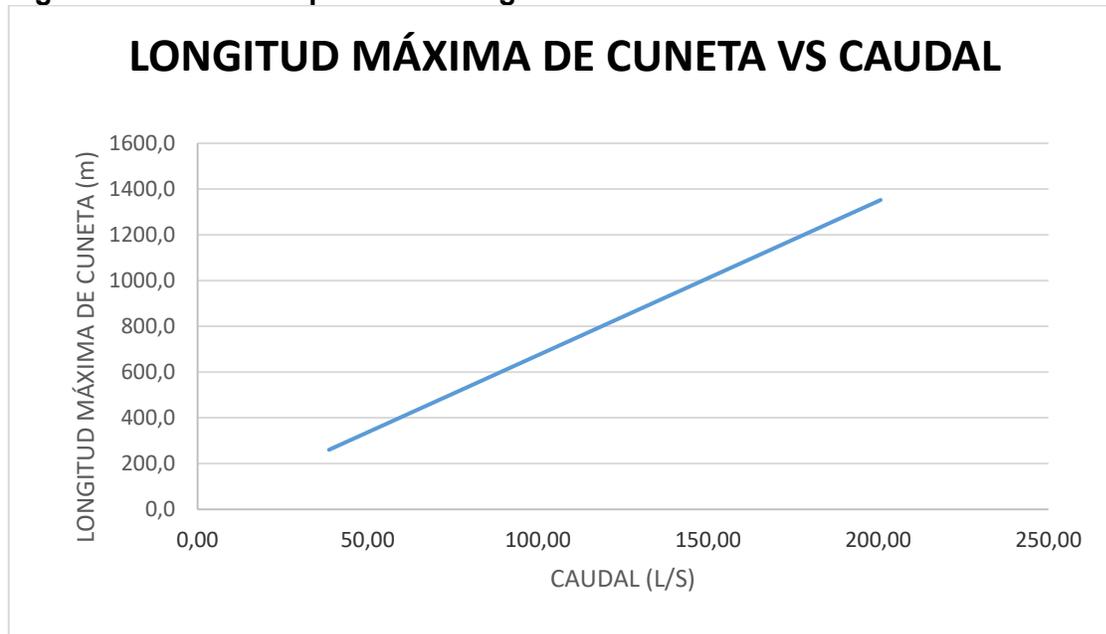
Tabla 15. Datos gráfica Caudal vs Pendiente longitudinal

So(%)	Q (M^3/s)	Q(L/S)	Lm (m)
0.5	0.0386	38.62	260.2
1	0.0546	54.62	368.0
1.5	0.0669	66.90	450.7
2	0.0772	77.25	520.4
2.5	0.0864	86.37	581.9
3	0.0946	94.61	637.4
3.5	0.1022	102.19	688.5
4	0.1092	109.25	736.0
4.5	0.1159	115.87	780.6
5	0.1221	122.14	822.9
5.5	0.1281	128.10	863.0
6	0.1338	133.80	901.4
6.5	0.1393	139.26	938.2
7	0.1445	144.52	973.6
7.5	0.1496	149.59	1007.8

8	0.1545	154.50	1040.9
8.5	0.1593	159.25	1072.9
9	0.1639	163.87	1104.0
9.5	0.1684	168.36	1134.3
10	0.1727	172.73	1163.7
10.5	0.1770	177.00	1192.5
11	0.1812	181.16	1220.5
11.5	0.1852	185.23	1247.9
12	0.1892	189.22	1274.8
12.5	0.1931	193.12	1301.1
13	0.1969	196.94	1326.8
13.5	0.2007	200.70	1352.1

Fuente: Elaboración propia

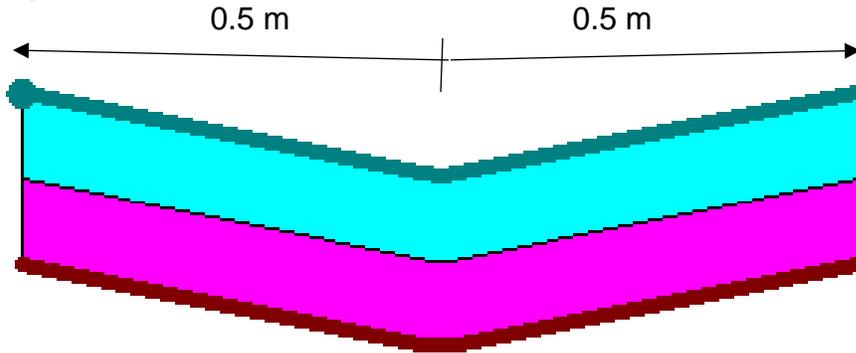
Figura 46. Caudal vs pendiente longitudinal



Fuente: Elaboración propia

Esta sección de cuneta se utilizará de la abscisa K0+000 hasta K0+190 y desde la K0+190 hasta K0+230 se utilizará una sección de cuneta diferente, una batea de 0.5 metros triangular a cada lado de la vía. Como se presenta en la siguiente figura

Figura 47. Sección de cuneta K0+190 – K0+230



Fuente: Elaboración propia

10.9.2. Alcantarillas

De acuerdo a la longitud de tramo a intervenir 230 METROS lineales y a la longitud de cuneta máxima calculada en el diseño hidráulico se deduce que no se requiere la construcción de alcantarillas.

Ademas es de resaltar que el terreno es totalmente plano, por consiguiente el caudal aportante de la cuenca es nulo y solo se tendra en consideración para el diseño el caudal de la carpeta de concreto por lo cual se propuso en el diseño hidraulico una berma cuneta con dimensiones mínimas permitidas por el INVIAS ademas de otras considreciones mencionadas anteriormente.

10.9.3. Sumideros

Los sumideros son estructuras encargadas de recoger la escorrentía de las calles o calzada para posteriormente ser evacuar hacia la estructura de entrada o salida de una alcantarilla o a un sitio seguro donde no causen daños a la vía

Teniendo en cuenta el diseño hidráulico y el no requerimiento de la construcción de alcantarillas, y por recomendaciones de obra respecto a la longitud de cuneta máxima que normalmente se trabaja, se plantea ubicar sumideros a lo largo de la vía sobre la Berma cuneta en una longitud máxima aproximada de 100 metros.

El tipo de sumidero a utilizar serán los **sumideros de rejilla o calzada**, un sumidero de rejilla consiste de una tanquilla colectora que está colocada debajo de la berma cuneta y a la cual se accede el caudal interceptado desde una reja conformadas por barras que idealmente, deberían estar orientadas de forma paralela a la corriente pero que, para facilitar la resistencia de la estructura y el paso de bicicletas, se suelen colocar de forma similar a la que se presentan en la figura:

Figura 48. Sumidero tipo rejilla



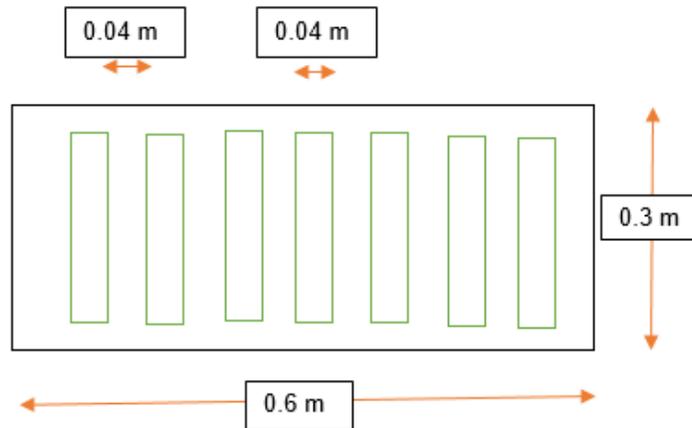
Fuente: Tipos de sumideros HIDRA

10.9.3.1. Diseño de sumideros

Como el caudal es relativamente pequeño se va a utilizar un sumidero de rejilla comercial tipo con barras perpendiculares al flujo para facilitar el tránsito por la berma cuneta.

- Tipo se sección = rectangular
- Dimensiones
 - Base: 0.6 m
 - Altura: 0.3 m
- Pendiente = 5%
- Coeficiente de Rugosidad de Manning = 0.014
- Caudal de diseño = $0.0148 \text{ m}^3/\text{s}$
- Separación entre barras= 40 mm

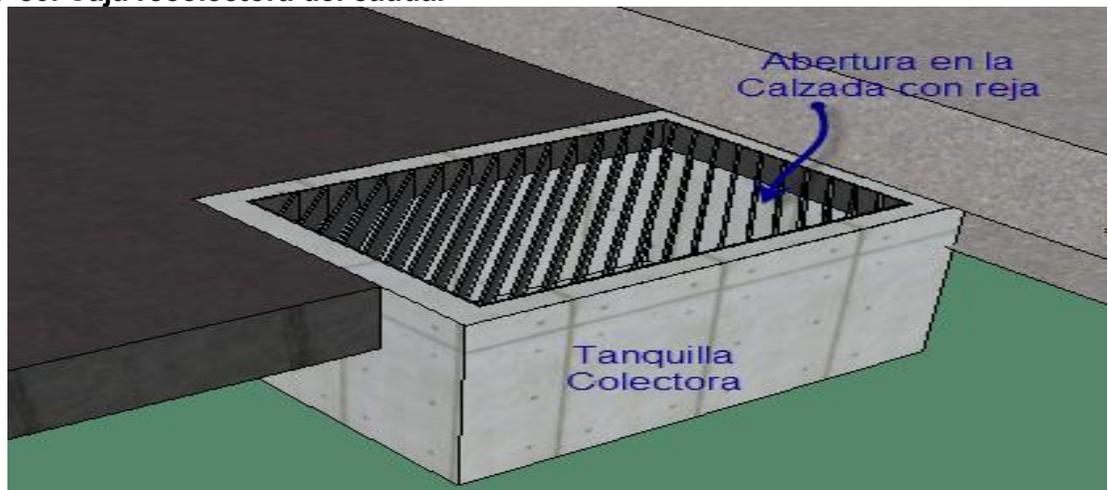
Figura 49. Sumidero tipo, planta



Fuente: elaboración propia

Los sumideros recolectan el caudal resultante de las calzadas y posteriormente se almacenan en una tranquilla colectora para luego ser transportadas al sitio de desagüe. Dada las condiciones geométricas de la zona y teniendo en cuenta que no se cuenta con un alcantarillado pluvial se recomienda la construcción de colectores o canales de desvío llamados aliviaderos este canal se construye en concreto reforzado cimentado directamente sobre el terreno natural.

Figura 50. Caja recolectora del caudal



Fuente: tipos de sumideros Hidra

La caja o tanquilla recolectora será de 0.9 metros de altura y 0.6x0.3 metros adecuándose a las dimensiones de los sumideros proyectados.

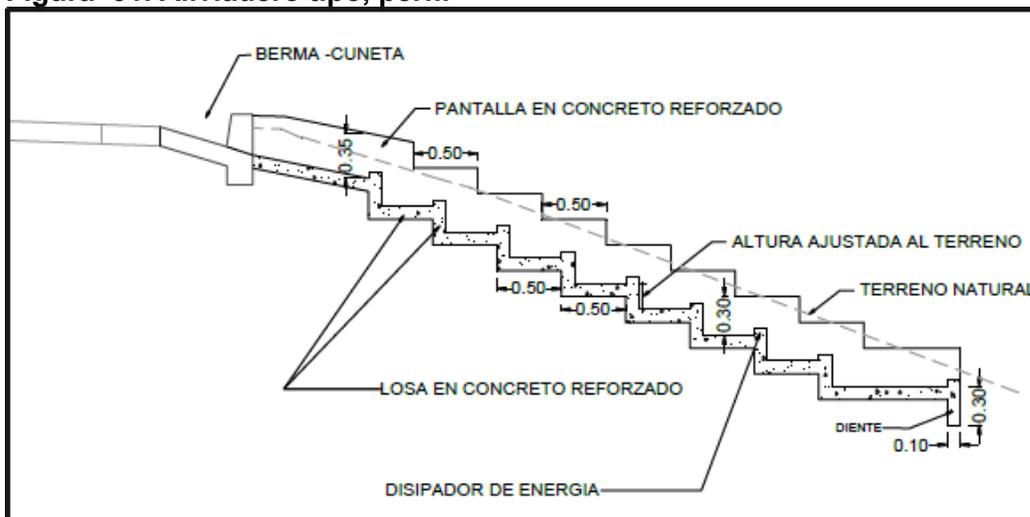
10.9.3.2. Localización de los sumideros

Los sumideros están ubicados en la abscisa K0+112, K0+190 y K0+196 a cada lado de la vía sobre la berma cuneta.

- **Abscisa K0+ 112**

En esta abscisa se ubicara un sumidero a cada lado de la vía, transportando el caudal del sumidero del lado izquierdo hacia la caja del sumidero del lado derecho mediante un tubo de 10 pulgadas para posteriormente evacuar el caudal resultante a través de la construcción de un aliviadero hasta depositar el caudal en un lugar que no cause daños tanto a la vía como a los predios aledaños, donde se ubique una zona con buenas condiciones para recepción de agua, en este caso se recomienda que se realice por una longitud de 20 metros longitudinales; es de resaltar que a aproximadamente 100 metros de la vía se encuentra un cuerpo de agua al cual se recomienda verter el caudal de agua lluvia recolectado en la vía. Se proyecta el sumidero en esta zona debido a que hay una pendiente favorable hacia uno de los lados de la vía para la evacuación del caudal recolectado, teniendo en cuenta que la vía está en un terreno plano.

Figura 51. Aliviadero tipo, perfil



Fuente: Guía de pavimentos Placa Huella

- **Abscisa K0+190**

En esta abscisa se ubicara un sumidero al lado izquierdo de la vía, el caudal recolectado por el sumidero se evacua mediante un tubo de 10 pulgadas hacia la

entrada de una alcantarilla existente que se encuentra en buenas condiciones para su uso.

- **Abscisa K0+190**

En esta abscisa se ubicara un sumidero al lado derecho de la vía, el caudal recolectado por el sumidero se evacuara mediante un tubo de 10 pulgadas hacia la entrada de una alcantarilla existente que se encuentra en buenas condiciones para su uso.

10.10. OBRAS DE DRENAJE EXISTENTE

En el sector existe una alcantarilla visible al lado izquierdo de la vía, su estado es adecuado, la alcantarilla se encuentra conectada al sistema de alcantarillado que existe en la vereda. Esta construcción se utilizara para recolectar el caudal de la calzada recolectado mediante dos sumideros ubicados en la abscisa K0+190 con el fin de reducir costos al momento de transportar el caudal aportado de la calzada a un sitio con buenas condiciones para recepción de aguas.

Figura 52. Alcantarilla existente en el sector



Fuente: Elaboración propia

Se plantea que el caudal recolectado por la berma- cuneta diseñada se deposite en esta construcción o se construya unos aliviaderos teniendo en cuenta que el caudal recolectado es mínimo, cabe resaltar que los aliviaderos es una propuesta adicionada al diseño hidráulico pero queda a consideración de la comunidad su construcción.

DISEÑO DEL PAVIMENTO
RÍGIDO

11. DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO

11.1. TIPO DE ESTRUCTURA

Se proyecta la pavimentación de la entrada principal de la vereda San Bernardino en un sistema de pavimento rígido.

11.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

El sistema estructural que se diseñará presenta una estructura compuesta por subrasante, subbase y una capa de rodadura en concreto hidráulico, cuyos espesores se calculan teniendo en cuenta los requerimientos de carga al cual va a ser sometida la estructura de pavimento.

Los pavimentos rígidos son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual es denominada subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de esfuerzos se distribuye en una zona amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a tensión, el comportamiento del pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando se encuentre zonas débiles en la subrasante.

La capacidad de soporte de la losa del pavimento rígido depende de la resistencia de la losa y por lo tanto, la superficie de apoyo ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

11.3. CALIDAD DE LOS AGREGADOS

En los pavimentos de concreto rígido se puede utilizar una gama muy amplia de agregados y arenas, si cumplen con unas condiciones mínimas que están relacionadas en especial, con la granulometría (E-123-07) y con el contenido de arcilla (E-124-07).

11.4. DRENAJE

Siendo el agua una de las causas que mayores problemas generan a las vías y que en general, provocan la disminución de la resistencia aportada por la subrasante, lo cual, genera deformaciones visibles en las capas superiores del pavimento.

Con los sistemas de drenajes, se busca encontrar la solución de tal forma que el agua se aleje lo más pronto posible de la estructura del pavimento. Entendiéndose como drenaje el conjunto de obras que sirven para captar, conducir y evacuar de la zona de influencia el agua que pueda generar problemas.

11.5. DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA

La estructura del pavimento rígido, está constituida por una o más capas, construidas sobre la subrasante, con el fin de soportar las sollicitaciones de esfuerzos generados por el tránsito de la zona, permaneciendo en condiciones óptimas de servicio en un periodo de diseño determinado.

11.5.1. Subrasante

Se denomina subrasante a la parte superior de las explanaciones sobre la cual se construye el pavimento, siendo su función principal proporcionar apoyo a la estructura de pavimento.

En ocasiones, se encuentra que **la capa de la subrasante no presenta las condiciones de resistencia necesarias para el diseño**, por lo cual, se debe optimizar la capa superior, removiendo el material que no cumple con la especificación requerida y reemplazándolo con material granular, el cual debe ser compactado, para mejorar su resistencia.

En este proyecto se debe hacer la remoción de una capa de materia orgánica debido a lo cual se debe hacer uso de un reemplazo de subrasante para el soporte de la estructura de pavimento. Se ha proyectado colocar una capa de 47 cm de suelo que cumpla con las funciones de una subrasante además de que este suelo tendrá mejores condiciones de resistencia que la que se encuentra actualmente.

11.5.2. Sub-base

Cuando las condiciones de resistencia del suelo de subrasante no sean las adecuadas para servir de apoyo directo a las losas se hace necesaria la colocación de una capa de material granular seleccionado, la cual debe satisfacer las siguientes funciones:

- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente al pavimento.
- Mejorar el drenaje, evitar ascensión capilar y evitar la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Control de deformaciones, evitando los efectos perjudiciales producidos por los cambios volumétricos de la subrasante.
- Mejorar la capacidad de soporte de la subrasante.
- Impedir que se produzca el fenómeno de bombeo.

Los agregados para la construcción de la sub-base granular deberán satisfacer los requisitos de calidad indicados en el **CAPITULO 3, Artículo 320, Tabla 320-2 de Manual del Instituto Nacional de Vías, INVIAS 2013**. Para este proyecto el tránsito se cataloga como un **NT1** debido a lo cual se debe cumplir con las especificaciones para una sub-base granular **CLASE C**, además, se deberán ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 320-3 del mismo manual.

Tabla 16. Especificaciones para Sub-Base Granular

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUB-BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones (%)	E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	35	30
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo.	E-148	30	30	40

Fuente: Manual del Instituto Nacional de Vías, INVIAS 2013.

11.5.3. Capa de rodadura

Esta capa se encuentra sobre la sub-base y está formada por losas de concreto hidráulico. Las cuales, por estar compuestas por un material heterogéneo, sus cualidades varían de acuerdo a la calidad de los agregados utilizados, la naturaleza del material cementante y las condiciones de producción.

11.6. PARÁMETROS DE DISEÑO

En este proyecto se plantea la construcción de pavimento rígido sobre el tramo de vía de 230 metros lineales que corresponden a la entrada principal de la Vereda san Bernardino. El tramo de vía tiene un ancho de calzada promedio de 7 m, con dos carriles (bidireccional o doble sentido) y estará confinada con berma cuneta en ambos extremos.

11.6.1. Determinación del CBR de diseño

El CBR es una medida de resistencia del suelo de subrasante, bajo condiciones de humedad, densidad controladas, aplicando cargas estáticas. El valor de CBR se obtiene sometiendo una muestra representativa del suelo de subrasante, a un ensayo de penetración de un pistón y aplicación de carga normalizado.

Se procesa la información recolectada durante la realización de los ensayos de laboratorio y se obtienen los valores de CBR. El trabajo de campo y ensayo de laboratorio estuvieron a cargo de la empresa ESTUDIO DE SUELOS LTDA.INGENIEROS CONSUTORES DE POPAYAN-CAUCA; los resultados obtenidos se resumen a continuación:

Tabla 17. Valores de CBR para el tramo

ENTRADA PRINCIPAL VEREDA SAN BERNANDINO Abscisa K0+060			
CBR N°	CBR SATURADO	CLASIFICACIÓN	OBSERVACIONES
1	3.4	MH	No se encontró nivel freático
ENTRADA PRINCIPAL VEREDA SAN BERNANDINO Abscisa Ko+160			
2	4.4	MH	No se encontró nivel freático

Fuente: Elaboración propia

11.7. RESISTENCIA DE DISEÑO DEL CONCRETO

Para obtener una mezcla de concreto de buena calidad se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- **Módulo de Rotura:** el cual para ser aceptado debe tener una resistencia a la flexión en un rango que varía entre 4 MPa y 4.5 MPa; para el desarrollo de este proyecto se va a usar un módulo Rotura de 4 MPa.

11.7.1. Diseño de pavimentos de concreto hidráulico

Los pavimentos rígidos están formados por una estructura estable que integre los parámetros y las variables que intervienen en su diseño.

Las principales variables que intervienen en el diseño estructural de un pavimento rígido, son: espesor de la losa, resistencia a la flexión del concreto (MR), capacidad de soporte de carga (K) del conjunto subrasante y subbase. Estas se encuentran en función de la capacidad de soporte del suelo, las solicitaciones dadas por el tránsito, la naturaleza de los materiales que se van a utilizar, calidad del concreto y espesor del pavimento.

11.7.2. Procedimiento de diseño

En el diseño de la estructura se plantea el uso de la metodología de la PCA para pavimentos rígidos, con la cual es definido el espesor de la losa de concreto y de la subbase, teniendo información de tráfico, como lo es el tipo y cantidad de vehículos que circulan por la vía detallando las cargas generadas por cada uno de ellos, la capacidad de soporte de la subrasante, calidad de los materiales a utilizar y la opción de utilización de otros componentes como sistema de transferencia de carga y una capa de subbase granular.

Este método controla dos criterios de diseño; el agrietamiento de la losa (fatiga) y el criterio responsable de controlar el desgaste del suelo de soporte (erosión). Controlando que los valores de los criterios mencionados, no supere el 100%, para realizar este análisis se utilizó el método de la PCA. A continuación, se describen los componentes requeridos para el diseño.

- **PERIODO DE DISEÑO:** Dado que realizar una predicción con suficiente predicción no es una tarea fácil; generalmente, se toma un lapso de 20 años como periodo de diseño de un pavimento rígido, adicionalmente, un periodo de diseño prolongado puede ocasionar sobrecostos injustificados.

- **SOPORTE DE LA SUBRASANTE Y LA SUBBASE:** La resistencia de la subrasante es medida en términos del módulo de reacción (K), determinado por pruebas de placa directa, sin embargo, teniendo en cuenta que realizar estas pruebas requiere de un proceso complejo y costoso, el valor del coeficiente K se estima generalmente, usando correlaciones con resultados de ensayos más sencillos como lo es el ensayo CBR. Este procedimiento es válido puesto que no es necesario, el conocimiento del valor exacto del módulo K ya que variaciones no muy grandes de este, no representan cambios significativos en los espesores requeridos del pavimento.

- **SUB-BASE**

Se va a utilizar una base granular de buena calidad, que proteja la losa de concreto Hidráulico, además, esta debe aportar resistencia a la subrasante.

11.8. TRÁNSITO DE DISEÑO

Para estimar la distribución del tránsito de las vías de influencia, se realizaron aforos, de los cuales se obtuvieron los resultados que se presentan en las siguientes tablas, siguiendo la clasificación de los vehículos en Colombia.

Figura 53. Clasificación de los vehículos en Colombia

TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA	TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA
AUTOS			C3 Y C4	CAMION C3	
				CAMION C4	
				TRACTO-CAMION C2-S1	
BUSES	BUSETA			TRACTO-CAMION C2-S2	
	BUS			TRACTO-CAMION C3-S1	
	BUS METROPOLITANO			C5	TRACTO-CAMION C3-S2
C2-P	CAMION DE DOS EJES PEQUENO				> C5
C2-G	CAMION DE DOS EJES GRANDE				

Fuente: Manual de pavimentos para carreteras INVIAS

Tabla 18. Distribución vehicular en el tramo de estudio

AFORO VEHICULAR			
DISTRIBUCIÓN VEHICULAR			
AUTOS	C-2G	C3	C3S3
416	28	4	1

Fuente: Elaboración propia

Utilizando los resultados anteriores, se procede a realizar los siguientes cálculos para obtener el tránsito discriminado por carga de eje de las configuraciones de cada vehículo.

▪ **Número de vehículos comerciales diarios en el carril de diseño**

Este valor es determinado teniendo en cuenta la composición de los vehículos comerciales, teniendo como valor de distribución direccional de los vehículos $F_d=0.75$, de acuerdo con la siguiente tabla donde se relaciona el ancho de carril con el factor de distribución.

Ancho Calzada	Fd
<5m	1
5=<6	0.75
>=6	0.5

Asumiendo que los camiones y buses se distribuyen equitativamente en el carril de diseño y factor de distribución por carril $F_{ca.}=1.0$, considerando que hay un carril por sentido. Teniendo el conteo realizado se obtiene la siguiente composición vehicular:

Tabla 19. Composición porcentual vehicular

COMPOSICIÓN VEHICULAR		
TIPO DE VEHICULO	TPD	% VEHICULOS
Autos	449 VEHICULOS	92.7
C-2G		6.2
C3		0.9
C3S3		0.2
		100%

Fuente: Elaboración propia

▪ **Proyección del tránsito de vehículos comerciales en el carril de diseño durante el periodo de diseño**

Esta proyección es realizada de acuerdo a la tasa de crecimiento del tránsito (r) que, siguiendo el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito del INVIAS, para este tipo de proyección de volúmenes se manejan tasas del 3%, el porcentaje de vehículos comerciales, el factor de distribución direccional, el factor de distribución por carril y el periodo de diseño; se utilizan en la siguiente ecuación.

$$N_t = TPD * F_p * F_d * N * 365 * \frac{(1+r)^N - 1}{r}$$

N_t= Tránsito futuro

TPD= Tránsito Promedio Diario

N= periodo de diseño (20 años)

F_p= factor carril (0.5)

F_d= factor de distribución (1)

R= Tasa de crecimiento anual (3%)

N_t= 44036513 VEHICULOS

- **Distribución del número de repeticiones por cada ejes de carga**

Estimación del tránsito de diseño empleando la metodología de espectros de carga para pavimento rígido.

Para el espectro de cargas se tiene:

Tabla 20. Cargas para cada eje de carga

Tipo	Peso Bruto Máximo (Ton)	Carga (Ton)			Cálculo FD
		Eje simple	Eje trasero	Eje remolque	
Bus	10	4	6 (SRD)		0,42
C2P	8,5	2,5	6 (SRD)		0,31
C2G	16	6	10 (SRD)		2,89
C3	28	6	22 (Tándem)		5,31
C3-S2	48	5	22 (Tándem)	21 (Tridem)	8,37
C3-S3	52	7	21 (Tándem)	24 (Tridem)	6,29

Fuente: Diseño de estructura de pavimentos

Composición vehicular del tránsito proyectado el periodo de diseño

Tabla 21. Composición vehicular en el periodo de diseño (20 años)

COMPOSICIÓN VEHICULAR			
TIPO DE VEHICULO	TPD PROYECTADO	% VEHICULOS	NUMERO DE REPETICIONES
Autos	44036513 VEHICULOS	92.7	40821848
C-2G		6.2	2730264
C3		0.9	396329
C3S3		0.2	88073
			44036513

Fuente: Elaboración Propia

Se obtienen así los siguientes espectros de carga:

Tabla 22. Espectro de Carga

CARGA (Ton)	NUMERO DE REPETICIONES
eje simple	
5	2730264
6	396329
7	88073
Eje Tándem	
22	396329
21	88073
Eje Tridem	
24	88073

Fuente: Elaboración Propia

- **Estimación del espesor de la losa de concreto**

De acuerdo con los anteriores parámetros, se define un espesor de losa de 18 cm y una subbase con un espesor de 15 cm, para la construcción de pavimento rígido sobre la vía de la entrada principal de la Vereda San Bernardino.

11.9. MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON ADICIÓN DE MATERIALES

Dado que la respuesta estructural de un pavimento (esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos) está influenciada por la subrasante, tanto que parte de las deflexiones en la superficie dependerá de ella; es de vital importancia para la construcción del pavimento contar con una subrasante que brinde buenas condiciones de resistencia.

Del perfil estratigráfico se puede observar que se cuenta con un estrato de capa orgánica que es un tipo de suelo inadecuado para la construcción ya que presentan condiciones inestables, baja resistencia y técnicamente no es un suelo apto para la construcción. Debido a esto se considera que es necesario hacer la remoción de ese estrato y mejorar la subrasante con otro tipo de suelo con las condiciones adecuadas para el soporte de la construcción.

Figura 54. Perfil estratigráfico



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que la altura total de la estructura del pavimento será de 33 cm aproximadamente, la capa de suelo a adicionar es de 47cm de altura a lo largo de todo el tramo a intervenir (217 metros), el suelo a adicionar deberá cumplir con las siguientes especificaciones según el **CAPITULO 2, Artículo 220 de Manual del Instituto Nacional de Vías, INVIAS 2013:**

Tabla 23. Especificaciones para terraplenes

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUELOS SELECCIONADOS	SUELOS ADECUADOS	SUELOS TOLERABLES
Partes del terraplén a las que se aplican		Todas	Todas	Cimiento y Núcleo
Tamaño máximo, mm	E-123	75	100	150
Porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10) en masa, máximo	E-123	80	80	-
Porcentaje que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) en masa, máximo	E-123	25	35	35
Contenido de materia orgánica, máximo (%)	E-121	0	1.0	1.0
Límite líquido, máximo (%)	E-125	30	40	40
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-126	10	15	-
CBR de laboratorio, mínimo (%) (Nota 1)	E-148	10	5	3
Expansión en prueba CBR, máximo (%)	E-148	0.0	2.0	2.0
Índice de colapso, máximo (%) (Nota 2)	E-157	2.0	2.0	2.0
Contenido de sales Solubles, máximo (%)	E-158	0.2	0.2	-

Fuente: Manual de pavimentos INVIAS.

Adicionalmente se debe compactar 10 cm del suelo sobre el cual se va a cimentar el terraplén. El CBR del suelo dependerá del grado de compactación que se le aplique al suelo, en función de las densidades de compactación durante la construcción.

El CBR adoptado para el suelo de mejoramiento y posterior diseño del pavimento es de 5 %.

11.10. DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO

El diseño del pavimento rígido se realizará por el método de la PCA, que tiene en cuenta:

1. La capacidad de soporte de la estructura de apoyo.
2. Las propiedades mecánicas del hormigón (M_r y E).
3. El tipo de transferencia de cargas en juntas transversales (pasadores SI/NO).
4. El tipo de transferencia de carga en bordes (banquina, sobrecancho de calzada).
5. El factor de seguridad de carga (PCA) o la confiabilidad y el porcentaje de losas fisuradas (ACPA).

11.10.1. Módulo de reacción de la subrasante

Del **Manual de Pavimentos- Medios y Altos Volúmenes** se Utiliza la siguiente fórmula para el cálculo del Módulo de reacción de la subrasante:

$$K \text{ (Mpa/m)} = 2,55 + 52,5 * \text{Log (CBR)}$$

Teniendo en cuenta lo mencionado en cuanto el perfil de suelo encontrado en el tramo, se debe hacer Remoción parcial del suelo natural para conformar una capa de subrasante con material de préstamo para mejorar las características de resistencia. Se proyecta un estrato de suelo con un CBR de 5%.

Así,

$$K = 40 \frac{\text{Mpa}}{\text{m}}$$

11.10.2. Módulo de reacción de la Sub Base

El módulo de reacción de la Sub Base se calcula en función de la subrasante y el espesor de la capa de sub base, de la siguiente manera

Figura 37. Calculo de K combinada

Valor de k para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³
20	73	23	85	26	96	35	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Fuente: Guía para el Diseño de estructuras de Pavimentos

Se tiene,

$$K \text{ (subrasante)} = 40 \text{ Mpa/m}$$

$$\text{Espesor} = 150 \text{ mm}$$

Interpolando, se obtiene para la sub Base:

$$K = 49 \text{ Mpa/ m}$$

Además, el factor de seguridad de carga será 1.1ya que es para carreteras y vías urbanas arterias con tránsito moderado de vehículos pesados.

11.10.3. Tipo de Juntas y Bermas

La berma protege contra el fenómeno de erosión y disminuye los esfuerzos de borde. Los pasadores o juntas ayudan a mejorar la transmisión de cargas entre las losas por lo cual son importantes en el caso donde controla el diseño por erosión.

Pasadores: SI

Bermas: SI

11.10.4. Herramienta de Software para diseño de pavimentos rígidos

Para el diseño del pavimento se utilizara el software BS-PCAA “Diseño de pavimentos Rígidos Método PCA Y AASTHO” desarrollado por la Universidad del cauca

Figura 55. Portada Software Bs- PCA



Fuente: Elaboración propia sobre pantallazo Bs- PCA

Datos de entrada programa PCA

Tabla 38. Datos de entrada Software

VARIABLE	VALOR
Periodo de Diseño (Años)	20
Módulo de Rotura (Mpa)	4.0
Módulo de K de apoyo (Mpa/m)	49
Espesor de diseño (mm)	180
F.s.c	1.1

Fuente: Elaboración Propia

Seguido se ingresa las repeticiones por cada eje de carga, Eje Simple, Eje Tándem, Eje Tridem. De esta manera se obtiene los porcentajes de erosión y fatiga cumpliendo con lo exigido ya que no superan el total de consumo el 100%, en este caso existe un consumo de FATIGA de **24.8%** y un consumo de EROSIÓN de **45.9%**.

Figura 56. Diseño del pavimento Rígido

Fuente: pantallazo ejecución de software

11.10.5. Dimensionamiento de la Losa de Concreto

Para realizar el dimensionamiento de las losas, se tienen las siguientes características:

- Velocidad de operación = 30 Km/h
- Calzada = 6,00 m de ancho.
- Carril = 3,00 m de ancho.
- Ancho de la losa = Ancho del carril.
- Criterios para dimensionamiento = 18 cm.

El dimensionamiento se realiza teniendo en cuenta 2 parámetros, para tener un mejor comportamiento estructural:

Figura 57. Recomendaciones para la Longitud de la Losa

RECOMENDACIONES RELACION LARGO/ESPESOR		
FUENTE	RECOMENDACIÓN	
PCA	Longitud Losa/ Espesor Losa	< 25 (mismas unidades)

RECOMENDACIONES LARGO/ANCHO		
FUENTE	RECOMENDACIÓN	
PCA	Longitud Losa/ Ancho	L /A < 1,4

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos INVIAS

1. Criterio del espesor:

La relación de esbeltez (RE) es:

$$RE = \frac{3,65}{3,65} = 1$$

$$\underline{L = 25 * D = 25 * 18 \text{ cm} = 450 \text{ cm} = 4.5 \text{ m.}}$$

$$RE = \frac{4.5}{3,0} = 1,5$$

1,5 > 1,25 No cumple

2. Criterio AASHTO:

$$L = 1,2 * A = 1,2 * 3,0 = 3.6 \text{ m.}$$

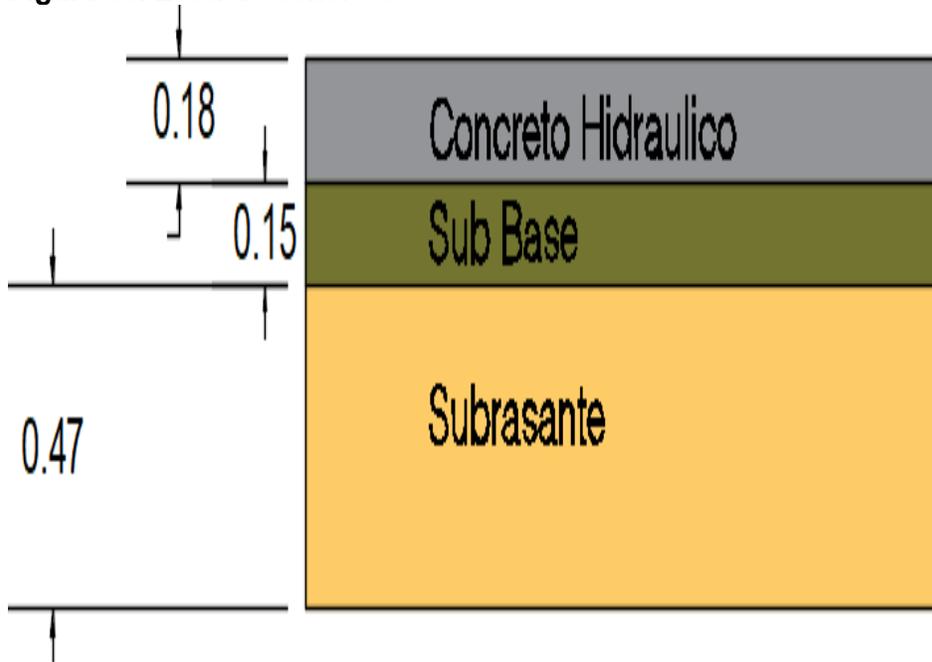
$$RE = \frac{3.6}{3,0} = 1,04$$

$$1,2 < 1,25 \text{ cumple.}$$

La longitud de losa que cumple con este criterio es 3.6m. Por lo que las dimensiones de la losa son las siguientes:

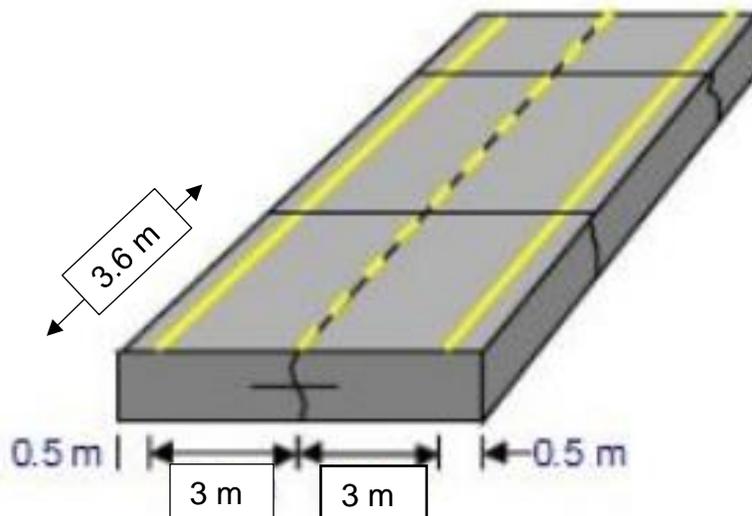
Espesor=	0.18	M
Largo=	3.6	M
Ancho=	3	M

Figura 58. Losa de concreto



Fuente: Elaboración propia

Figura 59. Losa de concreto pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

11.11. SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE CARGA

✓ Pasadores de carga

Para una losa de 0.18 m de espesor, según las recomendaciones dadas en la siguiente tabla, se seleccionan las siguientes características para los pasadores:

Tabla 24. Características pasadores de carga en las losas de pavimento rígido

ESPESOR DE LA LOSA, (mm)	DIÁMETRO DEL PASADOR		LONGITUD TOTAL, (mm)	SEPARACIÓN ENTRE CENTROS, (mm)
	mm	pulgadas		
0 - 100	13	½	250	300
110 - 130	16	5/8	300	300
140 - 150	19	¾	350	300
160 - 180	22	7/8	350	300
190 - 200	25	1	350	300
210 - 230	29	1 1/8	400	300
240 - 250	32	1 ¼	450	300
260 - 280	35	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 ½	500	300

Fuente: Nociones sobre métodos de diseño de estructuras para pavimentos

Diametro del pasador, $\phi = 22\text{mm}$ (7/8")

Longitud del pasador: 0.35 m

D Separación de centros = 0.30m

Los pasadores se colocan en la mitad del espesor de la losa. (D/2)

✓ **Barras de anclaje**

Para una losa de 0.18 m de espesor, según las recomendaciones presentadas a continuación, se seleccionan las siguientes características:

Tabla 25. Características barras de anclaje

ESPESOR DE LA LOSA, cm	BARRAS DE ϕ 9.5 mm (3/8")			BARRAS DE ϕ 12.7 mm (1/2")			BARRAS DE ϕ 15.9 mm (5/8")					
	Longitud, mm	Separación entre barras, m			Longitud, mm	Separación entre barras, m			Longitud, mm	Separación entre barras, m		
		Camil de 3.05 m	Camil de 3.35 m	Camil de 3.65 m		Camil de 3.05 m	Camil de 3.35 m	Camil de 3.65 m		Camil de 3.05 m	Camil de 3.35 m	Camil de 3.65 m
Acero de $f_y = 187.5$ MPa (40,000 lb/pulg ²)												
15.0	450	0.80	0.75	0.65	600	1.20	1.20	1.20	700	1.20	1.20	1.20
17.5		0.70	0.60	0.55		1.20	1.10	1.00		1.20	1.20	1.20
20.0		0.60	0.55	0.50		1.05	1.00	0.90		1.20	1.20	1.20
22.5		0.55	0.50	0.45		0.95	0.85	0.80		1.20	1.20	1.20
25.0		0.45	0.45	0.40		0.85	0.80	0.70		1.20	1.20	1.10
Acero de $f_y = 280$ MPa (60,000 lb/pulg ²)												
15.0	650	1.20	1.10	1.00	850	1.20	1.20	1.20	1000	1.20	1.20	1.20
17.5		1.05	0.95	0.85		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
20.0		0.90	0.80	0.75		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
22.5		0.80	0.75	0.65		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
25.0		0.70	0.65	0.60		1.20	1.15	1.10		1.20	1.20	1.20

Fuente: CARLOS HERNANDO HIGUERA SANDOVAL. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras – Volumen2

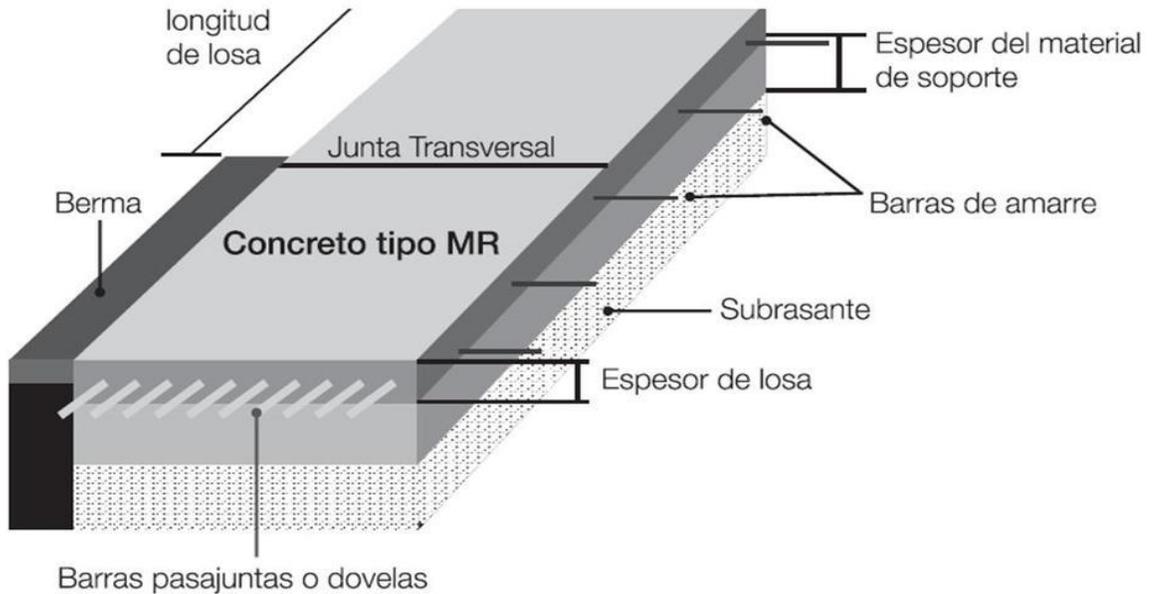
Barras de anclaje e=180mm (Fy=187,5 MPa)

Diam (Pulg)	1/2
Acero, fy(MPa)	187.5
Long (mm)	600
Sep entre barras (mm)	1170

Barras de anclaje e=180mm (Fy=280 MPa)

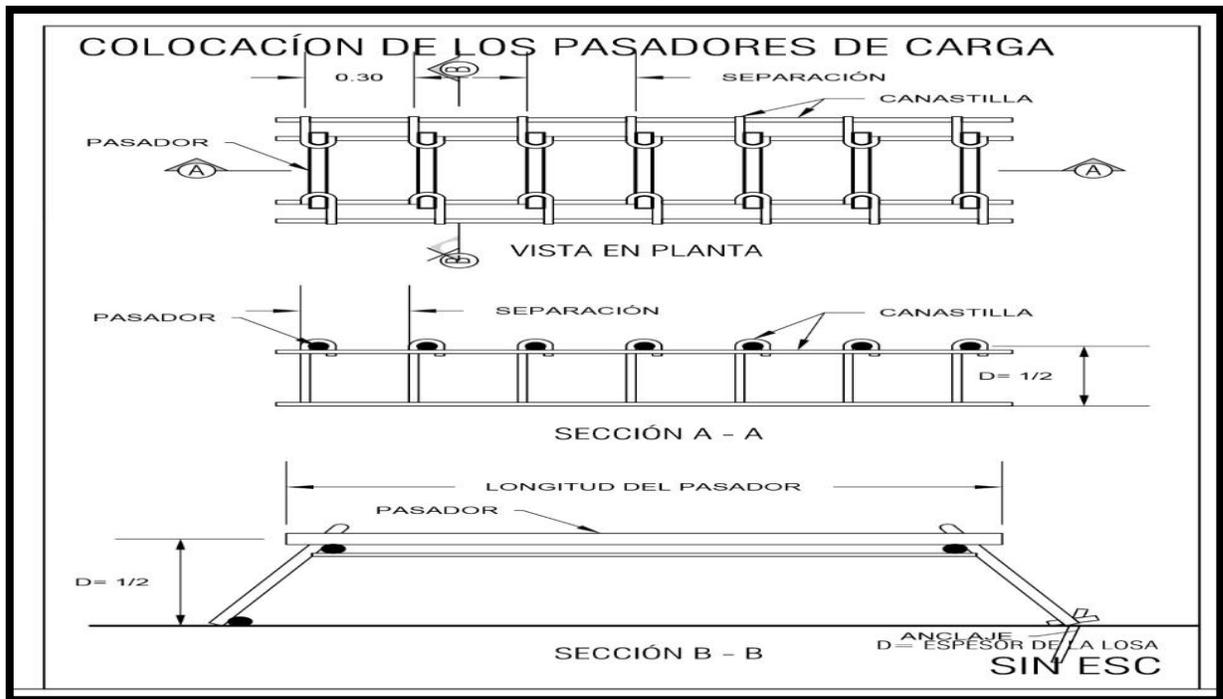
Diam (Pulg)	1/2
Acero, fy(MPa)	280
Long (mm)	850
Sep entre barras (mm)	1200

Figura 60. Características de una losa del pavimento



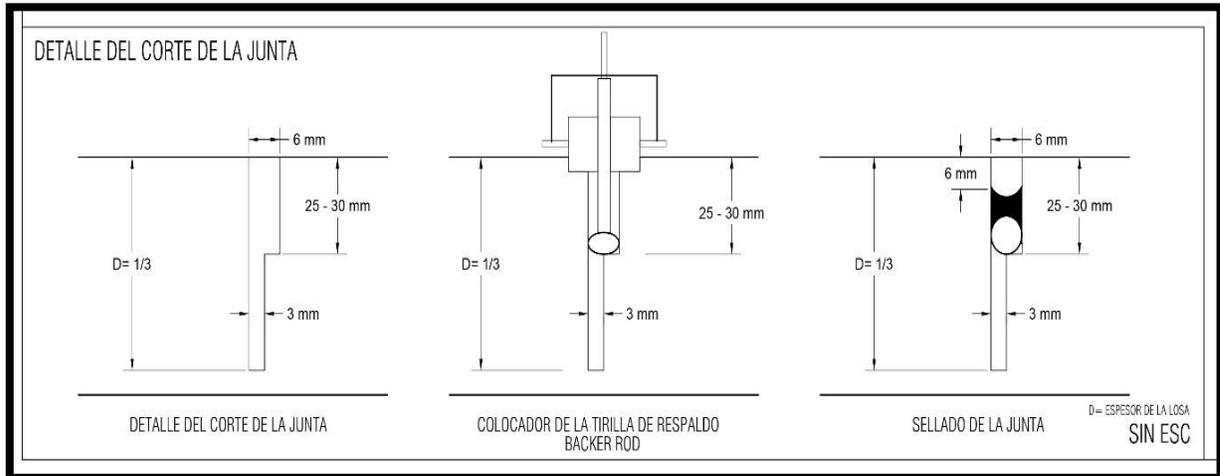
Fuente: Software libre para el diseño de pavimentos de concreto

Figura 61. Colocación de los pasadores de carga



Fuente: CARLOS HERNANDO HIGUERA SANDOVAL. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras -volumen2

Figura 62. Detalle del corte de la Junta



Fuente: CARLOS HERNANDO HIGUERA SANDOVAL. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras –Volumen2

11.12. CANTIDADES DE OBRA DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

De acuerdo con la siguiente tabla donde se muestran las dimensiones nominales de las barras de refuerzo, con diámetros basados en octavos de pulgada, se obtienen las cantidades para la construcción del pavimento rígido en la vía Vereda San Bernardino municipio de Popayán.

Tabla 26. Dimensiones nominales de las barras de refuerzo

Designación de la barra No	Diámetro de referencia en pulgadas	DIMENSIONES NOMINALES			
		Diámetro mm	Area sección mm ²	Perímetro mm	Masa kg/m
2	1/4	6.4	32	20.0	0.250
3	3/8	9.5	71	30.0	0.560
4	1/2	12.7	129	40.0	0.994
5	5/8	15.9	199	50.0	1.552
6	3/4	19.1	284	60.0	2.235
7	7/8	22.2	387	70.0	3.042
8	1	25.4	510	80.0	3.973
9	1-1/8	28.7	645	90.0	5.060
10	1-1/4	32.3	819	101.3	6.404
11	1-3/8	35.8	1006	112.5	7.907
14	1-3/4	43.0	1452	135.1	11.380
18	2-1/4	57.3	2581	180.1	20.240

Fuente: Catalogo de barras de acero

Tabla 27. Cantidades de obra para la construcción del pavimento

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD POR ML	METROS LINEALES	CANTIDAD TOTAL
1	REMOCIÓN DE MATERIAL INADECUADO	M3	5.92	217	1284
2	MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EMPLEANDO MATERIAL ADICIONADO	M3	3.45	217	748
3	CONCRETO SUB-BASE GRANULAR	M3	0.9	217	195
4	CONCRETO HIDRAULICO	M3	1.08	217	248.4
5	PASADORES DE 7/8 PULG	KG	5.32	217	1154
6	BARRAS DE ANCLAJE DE 1/2 PULG	KG	0.596	217	129
7	CUNETA SUB-BASE	M3	0.15	230	34.5
8	CUNETA CONCRETO	M3	0.1	230	23
9	BORDILLO	M3	0.038	230	17.25

Fuente: Elaboración propia

11.13. RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCIÓN

- Se recomienda para la construcción del pavimento realizar un mejoramiento con adición de materiales a la subrasante para obtener las condiciones de resistencia adecuadas para el pavimento.
- El dimensionamiento y diseño estructural de la losa de concreto es de gran importancia ya que se debe controlar el agrietamiento transversal y longitudinal generada por la contracción restringida del concreto y por los efectos combinados de alabeo y las cargas de tránsito, por lo que es vital cumplir con los requerimientos exigidos; en este caso la longitud de la losa se disminuyó debido a que el carril diseño es menor con respecto a el ancho de carril generalmente utilizado.
- Al realizar el mejoramiento de la subrasante se debe hacer una correcta compactación sobre la subrasante existente para la posterior colocación del suelo de adición, para conservar las especificaciones requeridas de resistencia y calidad del agregado a adicionar.
- Se recomienda utilizar un concreto premezclado para la construcción del pavimento para alcanzar el Modulo de Rotura especificado en el diseño.

12. RECOMENDACIONES GENERALES Y CONCLUSIONES

- En la realización del levantamiento topográfico se observó que el ancho de calzada actual de la vía en promedio a lo largo del tramo es de 7.30 metros y socializando con la comunidad se determinó que este ancho se debía respetar debido a que alrededor de esta vía existen construcciones y predios de carácter privado, es por esto que se debió disminuir el ancho de carril que normalmente se trabaja de 3.5 m a 3m.
- Se diseñó una calzada de 6 metros de ancho y una berma cuneta de 0.5 metros con un bordillo de 15 cm de espesor a cada lado de la calzada, tomando en consideración la utilidad que esta representa en zonas estrechas.
- En el estudio de tránsito, se consideró un tránsito promedio diario mayor al esperado, teniendo en cuenta que esta es una zona de crecimiento urbano a mediano plazo. Es decir el diseño ha considerado ésta anunciada expansión.
- Se concluye que el comportamiento vehicular en la zona está bien definido, en el cual la proporción de vehículos livianos es significativa y la participación de buses es baja al igual que la participación de los camiones. Los vehículos representan un 92.7 % del tránsito promedio diario (TPD).
- En el diseño geométrico se proyectó realizar el empalme con la placa huella en asfalto debido a que se debió tomar 4 metros de placa huella para asegurar un adecuado desarrollo del peraltado.
- Este proyecto es de gran importancia ya que se aplican todos los conocimientos adquiridos en la academia en un ámbito más profesional.
- Para obtener un buen resultado en la construcción del pavimento debe considerarse las especificaciones recomendadas en el diseño.
- Se realizó un análisis de sensibilidad al pavimento y se concluye que al incrementar la variable de tránsito en un 1.5% la estructura de pavimento cumple con los requerimientos; si se genera un error en el módulo de rotura en más o menos 1 unidad aún se cumplen con las condiciones de resistencia de la estructura. Sin embargo si se generan errores en las dos variables a la vez la estructura presentara problemas de resistencia.
- Este trabajo tuvo apoyo de varios docentes de la Facultad, quienes hicieron sus aportes como asesores en cada una de las especialidades tenidas en cuenta.
- Finalmente no se tuvo el apoyo de la Vicerrectoría de Investigaciones a pesar de haber realizado todos los trámites los cuales quedaron asentados mediante el Id 4998 de la convocatoria “ESTRATEGIA PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA INTERACCIÓN SOCIAL-2018”. Siendo así y con el objeto de no parar el trabajo, los estudios realizados fueron financiados por los estudiantes.

Anexo 2

Cartera de Rasante

Abscisa	Peralte Izquierdo	Coordenadas Eje	Cota (m)			Peralte Derecho
(m)	%	N,E	Negra	Rasante	Subrasante	%
0	-2	767146.544,1054766.912	1804.471	1804.46	1804.46	-2
10	-2	767149.621,1054757.398	1803.704	1803.639	1803.639	-2
20	-2	767152.699,1054747.883	1803.127	1803.108	1802.308	-2
30	-2	767155.776,1054738.368	1802.968	1802.837	1802.037	-2
40	-2	767158.853,1054728.853	1802.76	1802.705	1801.905	-2
PQ1 43.330	-2	767159.878,1054725.685	1802.719	1802.664	1801.864	-2
50	-2	767161.764,1054719.287	1802.647	1802.581	1801.781	-2
60	-2	767164.591,1054709.695	1802.475	1802.456	1801.656	-2
70	-2	767167.418,1054700.103	1802.324	1802.331	1801.531	-2
80	-2	767170.245,1054690.511	1802.246	1802.206	1801.406	-2
90	-2	767173.073,1054680.919	1802.151	1802.082	1801.282	-2
100	-2	767175.900,1054671.327	1801.997	1801.957	1801.157	-2
110	-2	767178.727,1054661.735	1801.827	1801.832	1801.032	-2
120	-2	767181.554,1054652.143	1801.674	1801.708	1800.908	-2
130	-2	767184.381,1054642.551	1801.603	1801.583	1800.783	-2
140	-2	767187.209,1054632.959	1801.428	1801.458	1800.658	-2
PQ2 142.759	-2	767187.989,1054630.312	1801.318	1801.424	1800.624	-2
150	-2	767190.253,1054623.434	1801.301	1801.333	1800.533	-2
160	-2	767193.379,1054613.936	1801.204	1801.209	1800.409	-2
170	-1.83	767196.506,1054604.437	1801.048	1801.084	1800.284	-2
180	1.34	767199.633,1054594.939	1800.904	1800.902	1800.102	-2
TE3 184.275	2.69	767200.969,1054590.878	1800.729	1800.771	1799.971	-2.69
185	2.92	767201.196,1054590.189	1800.705	1800.746	1799.946	-2.92
190	4.5	767202.808,1054585.457	1800.614	1800.545	1799.745	-4.5
195	5.45	767204.643,1054580.806	1800.4	1800.308	1799.508	-5.45
200	5.45	767206.883,1054576.339	1800.107	1800.082	1799.282	-5.45
ECE3 201.505	5.45	767207.661,1054575.051	1800.018	1800.024	1799.224	-5.45
205	5.45	767209.664,1054572.188	1799.937	1799.907	1799.107	-5.45
210	5.45	767212.899,1054568.378	1799.823	1799.786	1798.986	-5.45
215	3.87	767216.402,1054564.811	1799.812	1799.717	1798.917	-3.87
ET3 218.735	2.69	767219.098,1054562.227	1799.788	1799.694	1798.894	-2.69
220	2.29	767220.015,1054561.354	1799.779	1799.687	1798.887	-2.29
230	-0.87	767227.259,1054554.461	1799.686	1799.631	1798.831	-2
234.226	-2	767230.321,1054551.549	1799.608	1799.607	1799.607	-2

Anexo 4