

## **Optimización Del Diseño Vial Tramo Molino Kwe'sx- López Adentro**

Luisa Fernanda Bernat Vargas

Pedro Emilio Burgos Ramírez

Nicolas Gómez Martínez

Derian Johan Saavedra Guaza

Juan José Zuleta Cárdenas

Daniel Arley Zambrano Guerrero

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

Ingeniero Javier Alexander Pérez Caicedo

Santiago de Cali. Colombia

Mayo 31 de 2024

## **Contenido**

<b>1. Resumen</b>	<b>12</b>
<b>2. Introducción.</b>	<b>13</b>
<b>3. Planteamiento del problema.</b>	<b>14</b>
<b>4. Justificación.</b>	<b>15</b>
<b>5. Objetivos.</b>	<b>16</b>
<b>5.1 General.</b>	<b>16</b>
<b>5.2 Específicos.</b>	<b>16</b>
<b>6. Marcos</b>	<b>17</b>
<b>6.1 Marco referencial</b>	<b>17</b>
<b>6.1.1 Infraestructura de vías en Municipio de Caloto Cauca- López Adentro</b>	<b>19</b>
<b>6.1.2 Topografía</b>	<b>20</b>
<b>6.1.3 Demografía</b>	<b>22</b>
<b>6.1.3.1 Escuelas.</b>	<b>22</b>
<b>6.1.3.2 Nivel educativo.</b>	<b>22</b>

6.1.3.3 Viviendas.	23
6.1.3.4 Población.	23
6.1.3.5 Nivel educativo.	23
6.1.3.6 Sociedad agroindustrial.	23
6.1.3.7 Cantidad de productos vendidos.	24
6.1.3.8 Comercialización de los productos.	25
6.1.3.9 Alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.	26
6.1.3.10 Mantenimiento de vías.	27
<b>6.2 Marco Conceptual</b>	<b>27</b>
6.2.1 Topografía	27
6.2.2 Diseño geométrico	28
6.2.2.1 Peralte.	28
6.2.2.2 Curvas circular simple.	30
6.2.2.3 Curvas espirales.	33
6.2.2.4 Curvas Espirales Circulo Espiral.	35
6.2.3 Hidráulica	37
6.2.3.1 Caudal de diseño.	37
6.2.3.2 Intensidad.	38
6.2.3.3 Coeficiente de escorrentía.	39
6.2.3.4 Longitud máxima entre cunetas.	41

6.2.3.5 Chequeo de cunetas.	42
6.2.3.6 Cálculo de diámetro de alcantarilla.	43
6.2.4 Estabilización de taludes	44
6.2.4.1 Método Morgenstern Price.	44
6.2.5 Pavimento	45
6.3 Marco teórico	47
6.3.1 Estado actual de la red terciaria municipio de Caloto Cauca – resguardo López Adentro	47
6.3.2 Evaluación de las condiciones del terreno	52
6.3.3 Propuesta para el mejoramiento de la red vial terciaria del municipio de Caloto – López Adentro	53
6.3.4. Criterios de diseño geométrico	57
6.3.4.1 Velocidad de diseño.	57
6.3.6 Principio fundamental de la hidráulica	65
6.3.6.1 Directrices Específicas del Manual de Drenajes para Carreteras de INVIAS.	65
6.3.7 Principio fundamental de la estabilización de taludes	66
6.3.7.1 Factor de seguridad.	67
6.3.7.2 Análisis de esfuerzos efectivos.	67
6.3.8 Pavimentos	68

<b>7. Metodología</b>	<b>69</b>
<b>7.1 Etapa 1</b>	<b>69</b>
<b>7.2 Etapa 2</b>	<b>70</b>
<b>7.2.1 Topografía</b>	<b>70</b>
<b>7.2.2 Diseño geométrico</b>	<b>72</b>
<b>7.2.2.1 Diseño de peraltes.</b>	<b>72</b>
<b>7.2.2.2 Diseño en planta.</b>	<b>73</b>
<b>7.2.2.3 Diseño en perfil.</b>	<b>74</b>
<b>7.2.3 Hidráulica</b>	<b>74</b>
<b>7.2.3.1 Refuerzo estructural para cunetas.</b>	<b>77</b>
<b>7.3 Etapa 3</b>	<b>78</b>
<b>7.3.1 Geotecnia</b>	<b>78</b>
<b>7.3.2 Pavimento</b>	<b>80</b>
<b>7.3.3 Predial</b>	<b>82</b>
<b>7.3.4 Presupuesto</b>	<b>83</b>
<b>7.3.5 Programación</b>	<b>84</b>
<b>8. Resultados</b>	<b>85</b>
<b>8.1 Prefactibilidad</b>	<b>85</b>

<b>8.2 Topografía</b>	<b>89</b>
<b>8.3 Diseño geométrico</b>	<b>93</b>
<b>8.4 Hidráulica</b>	<b>103</b>
<b>8.5 Estabilización de taludes</b>	<b>118</b>
<b>8.6 Pavimento</b>	<b>120</b>
<b>8.7 Predial</b>	<b>127</b>
<b>8.8 Presupuesto</b>	<b>132</b>
<b>8.9 Programación</b>	<b>135</b>
<b>8.10 Planos</b>	<b>136</b>
<b>9. Conclusión</b>	<b>137</b>
<b>10. Anexos</b>	<b>139</b>
<b>11. Referencias</b>	<b>140</b>

**Lista de tablas**

<i>Tabla 1</i>	18
<i>Tabla 2</i>	39
<i>Tabla 3</i>	40
<i>Tabla 4</i>	41
<i>Tabla 5</i>	53
<i>Tabla 6</i>	54
<i>Tabla 7</i>	55
<i>Tabla 8</i>	56
<i>Tabla 9</i>	60
<i>Tabla 10</i>	63
<i>Tabla 11</i>	64
<i>Tabla 12</i>	75
<i>Tabla 13</i>	78
<i>Tabla 14</i>	79
<i>Tabla 15</i>	86
<i>Tabla 16</i>	86
<i>Tabla 17</i>	87
<i>Tabla 18</i>	88

<i>Tabla 19</i>	90
<i>Tabla 20</i>	103
<i>Tabla 21</i>	104
<i>Tabla 22</i>	105
<i>Tabla 23</i>	106
<i>Tabla 24</i>	107
<i>Tabla 25</i>	108
<i>Tabla 26</i>	120
<i>Tabla 27</i>	122
<i>Tabla 28</i>	123
<i>Tabla 29</i>	125
<i>Tabla 30</i>	127
<i>Tabla 31</i>	132
<i>Tabla 32</i>	133
<i>Tabla 33</i>	134
<i>Tabla 34</i>	135

**Lista de figuras**

<i>Figura 1</i>	17
<i>Figura 2</i>	20
<i>Figura 3</i>	21
<i>Figura 4</i>	22
<i>Figura 5</i>	24
<i>Figura 6</i>	25
<i>Figura 7</i>	26
<i>Figura 8</i>	33
<i>Figura 9</i>	35
<i>Figura 10</i>	37
<i>Figura 11</i>	48
<i>Figura 12</i>	49
<i>Figura 13</i>	50
<i>Figura 14</i>	51
<i>Figura 15</i>	69
<i>Figura 16</i>	71
<i>Figura 17</i>	85
<i>Figura 18</i>	89
<i>Figura 19</i>	91

<i>Figura 20</i>	92
<i>Figura 21</i>	93
<i>Figura 22</i>	94
<i>Figura 23</i>	95
<i>Figura 24</i>	96
<i>Figura 25</i>	97
<i>Figura 26</i>	98
<i>Figura 27</i>	99
<i>Figura 28</i>	100
<i>Figura 29</i>	101
<i>Figura 30</i>	102
<i>Figura 31</i>	109
<i>Figura 32</i>	110
<i>Figura 33</i>	111
<i>Figura 34</i>	112
<i>Figura 35</i>	113
<i>Figura 36</i>	114
<i>Figura 37</i>	115
<i>Figura 38</i>	116
<i>Figura 39</i>	116

<i>Figura 40</i>	117
<i>Figura 41</i>	117
<i>Figura 42</i>	118
<i>Figura 43</i>	119
<i>Figura 44</i>	119
<i>Figura 45</i>	121
<i>Figura 46</i>	122
<i>Figura 47</i>	123
<i>Figura 48</i>	124
<i>Figura 49</i>	124
<i>Figura 50</i>	125
<i>Figura 51</i>	126
<i>Figura 52</i>	128
<i>Figura 53</i>	129
<i>Figura 54</i>	130
<i>Figura 55</i>	131
<i>Figura 56</i>	136
<i>Figura 57</i>	136

## 1. Resumen

En el municipio de Caloto, Cauca, Colombia, específicamente en la red vial terciaria de la vereda López Adentro, se enfrenta un desafío infraestructural. A través de un análisis exhaustivo de la normativa establecida por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), se busca mejorar la eficiencia en la implementación de estrategias, planes y programas delineados en el manual técnico para el mantenimiento de carreteras terciarias.

La investigación se enfoca en la evaluación detallada del estado actual de esta vía rural, con el objetivo de cumplir con los rigurosos requisitos establecidos para la formulación de una propuesta de mantenimiento efectiva. La esencia primordial de esta iniciativa radica en la minimización de los impactos derivados del deterioro de la vía rural, dado que una parte sustancial de la economía local se sustenta en la producción agrícola, particularmente en cultivos como el arroz.

En consecuencia, se reconoce la importancia crucial de garantizar una movilidad adecuada para toda la comunidad y la sociedad agroindustrial, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la región. Este enfoque técnico busca no solo resolver los problemas actuales de la infraestructura vial, sino también fortalecer la resiliencia de la red vial terciaria para enfrentar los desafíos futuros, asegurando un acceso seguro y eficiente para el transporte de productos agrícolas y el bienestar de la comunidad en su conjunto.

*Palabra clave:* Conservación vial, mantenimiento, infraestructura vial, diagnóstico de vías.

## **2. Introducción.**

La esencia del proyecto de Diseño se centra en la ejecución de mejora en el tramo vial Molino Kwe'sx- López Adentro, donde presenta una realidad colombiana que revela una marcada desconexión entre las capitales y el campesinado, evidenciada por la necesidad de transitar por trochas para llegar a las cabeceras municipales cultivadoras. Esta dificultad en el transporte de productos desde las veredas hasta las zonas comerciales expone a los productores a riesgos significativos. La mejora de las vías de conexión es una solución fundamental para dar condiciones óptimas que impulsen la competitividad en el mercado nacional.

En este contexto desafiante y crucial, la vereda López Adentro en el municipio de Caloto, Cauca, Colombia, enfrenta una serie de desafíos sociales, culturales y de seguridad que requieren una intervención cuidadosa y estratégica. Esta región no solo desempeña un papel vital en la conectividad y desarrollo económico, especialmente por la relevancia de la Rocera Kwe'sx en la economía local, sino que también incide directamente en la mejora de la calidad de vida de la población residente. Este proyecto no solo se enfoca en la rehabilitación de la infraestructura vial, sino también en promover la seguridad vial, así como la inclusión activa y respetuosa de la comunidad indígena en todas las fases de desarrollo. A lo largo de este informe, se explorarán las distintas fases que lo componen, desde el análisis de las condiciones actuales de la vía hasta llegar a un estudio de factibilidad.

### **3. Planteamiento del problema.**

En el municipio de Caloto, Cauca, concretamente en la vereda López Adentro, las vías terciarias muestran una notable ausencia de intervención para su mejoramiento, mantenimiento y condiciones de drenaje inadecuadas. Este escenario obstaculiza significativamente la movilidad de la comunidad hacia el molino Kwe'sx, generando una serie de desafíos que repercuten directamente en su competitividad en los mercados local y nacional. La lenta salida de productos debido a las deficientes condiciones viales impide una distribución eficiente, afectando la posición de la comunidad en el sector agroindustrial.

A esta complejidad se suma el contexto de conflicto armado en el Cauca, donde la comunidad de la vereda López Adentro ha experimentado el miedo y la guerra entre bandas que buscan sembrar el caos. Sin embargo, la resiliencia de la comunidad se refleja en aquellos que sueñan con destacarse en el mercado del cultivo del arroz y del café. A pesar de las adversidades, estos trabajadores diarios en las tierras sagradas buscan alejar a la comunidad de la pobreza y el conflicto, demostrando una fuerte determinación por construir un futuro mejor. Esta limitación implica una planificación más rigurosa para permitir la interconexión de los centros de producción rural con aquellos de mayor escala, donde se llevan a cabo las distribuciones del producto Kwe'sx arroz.

#### **4. Justificación.**

La trascendencia del desarrollo de la red vial terciaria con un enfoque centrado en el desarrollo económico y la mejora de la calidad de vida en Caloto, Cauca, es innegable. El tramo de vía que conecta López Adentro con Molino, conocido como "Kwe'sx", enfrenta problemas significativos en su funcionamiento y diseño actuales. Abordar esta problemática no solo es imperativo por su impacto en las vías físicas, sino también por su influencia directa en la calidad de vida, el bienestar de las comunidades locales y el desarrollo económico regional.

El estado actual de la vía "Kwe'sx" limita drásticamente la conectividad de estas comunidades, dificultando el acceso a servicios esenciales, mercados y oportunidades de empleo. Esta limitación ralentiza el progreso económico y perpetúa la desigualdad en la región. Además, la deficiencia en la infraestructura vial contribuye a la inseguridad vial, aumentando el riesgo de accidentes y lesiones para los residentes locales. La mejora de la seguridad en las carreteras no solo es un imperativo moral, sino también una necesidad práctica.

Por tal razón, la importancia de esta iniciativa va más allá de la conectividad y la seguridad vial. La mejora de la infraestructura vial abre nuevas oportunidades de desarrollo para la comunidad en su conjunto.

## **5. Objetivos.**

### **5.1 General.**

Realizar el diseño fase III de la rehabilitación del tramo de vía comprendido entre las abscisas K0+ 000 y K4+000, entre la vía Caloto – Corintio Cauca ruta 31 hasta la arrocera Kwe'sx Arroz.

### **5.2 Específicos.**

- Elaborar un diseño geométrico detallado para el tramo de vía desde la abscisa K0+000 hasta K4+000, siguiendo los criterios del Manual de Diseño Geométrico de Vías del INVIAS.
- Realizar un levantamiento topográfico para evaluar el estado actual de la vía, considerando sus características físicas, geográficas y geológicas.
- Diseñar la carretera vial terciaria, incorporando estructuras complementarias que garanticen su funcionalidad y seguridad.
- Elaborar un presupuesto preciso para la obra de infraestructura vial, asegurando la eficiencia en el uso de recursos.

## 6. Marcos

A continuación, se presentan los marcos del proyecto que se desarrolla bajo los siguientes aspectos:

### 6.1 Marco referencial

El proyecto se desarrolla en el municipio de Caloto Cauca, vereda López adentro Colombia. Su cabecera está localizada a los  $3^{\circ}02'08''\text{N}$  y  $76^{\circ}24'28''\text{O}$ . Esta limitado al Norte con el municipio de Villa Rica, Padilla, Guachené y Puerto Tejada, al Sur con el municipio de Jámalo, al Oriente con el municipio de Corinto y Toribio y al Occidente con el municipio de Santander de Quilichao.

### Figura 1

*Localización de Caloto, Cauca.*



*Nota.* Localización visual de Caloto mapa Colombia. Fuente. colaboradores de Wikipedia. (2023, 5 octubre). Caloto. Wikipedia, la enciclopedia libre

El municipio de Caloto, en el departamento del Cauca, abarca una extensión total de 2,686,08 hectáreas, ubicadas específicamente en el resguardo de López Adentro. Esta área se distribuye de la siguiente manera:

**Tabla 1**

*Información general de la extensión de Caloto, Cauca - López Adentro.*

<b>Información general de la extensión de Caloto, Cauca - López Adentro.</b>		
<b><i>Agrícola</i></b>	1.451,02 has	Caña de azúcar, Maíz, soya, plátano, frutales
<b><i>Pecuario</i></b>	881.03 has	Pastos y forrajes
<b><i>Forestal</i></b>	236.38 has	Zona de protección de bosques naturales e intervenidos
<b><i>Improductivo</i></b>	94.01 has	Zonas de alta pendiente
<b><i>Ganadería</i></b>	21.49 has	Infraestructura pecuaria
<b><i>Minería</i></b>	0.27 has	Pétreos
<b><i>Comercial</i></b>	0.27 has	Tiendas y expendios varios
<b><i>Servicios</i></b>	1.61 has	Centros educativos, escenarios deportivos, vías.

*Nota.* Extensión de Caloto. Fuente. De Derecho, E., De Carácter Especial, P., & Arara, L. (s/f). Plan de Vida y Desarrollo Resguardo Indígena de López Adentro. Gov.co.

El resguardo de López Adentro presenta una topografía que abarca altitudes que oscilan entre 1.050 y 4.100 metros sobre el nivel del mar, caracterizada por una variedad de paisajes montañosos y llanuras aluviales de piedemonte. La comunidad indígena se encuentra distribuida en diferentes pisos térmicos, desde zonas templadas hasta paramos bajos, con variaciones de

temperatura que van desde los 12 hasta los 23 grados centígrados y una precipitación anual promedio de 1.673mm.

En cuanto a la distribución demográfica, las diferentes veredas del resguardo cuentan con los siguientes números de habitantes: López Adentro alberga a 180 personas, Pilamos a 129 personas, Guabito a 143 personas y Vista Hermosa a 62 personas.

### ***6.1.1 Infraestructura de vías en Municipio de Caloto Cauca- López Adentro***

En términos de infraestructura de comunicaciones, el Resguardo Indígena Páez de López Adentro presenta una situación favorable. Su territorio es atravesado por la troncal 32, una vía pavimentada que se mantiene transitable durante todo el año. Esta carretera, frecuentada por empresas del valle del Cauca, facilita la movilidad de los habitantes entre el Resguardo y las cabeceras municipales de Caloto, Santander de Quilichao, Corinto, Cali y Popayán (ADENTRO, 2016-2019)

Sin embargo, la situación de las vías internas de la comunidad es menos favorable. Tres vías de acceso presentan un deterioro considerable debido a las lluvias y temporadas de lluvias intensas, lo que ha ocasionado la pérdida de la capa de rodadura. Estas vías, que suman una extensión de 7 kilómetros, requieren mantenimiento anual para mejorar su estado.

## Figura 2

*Mapa de vías Resguardo Indígena López Adentro.*



*Nota.* Vías López Adentro. Fuente. De Derecho, E., De Carácter Especial, P., & Arara, L. (s/f). Plan de Vida y Desarrollo Resguardo Indígena de López Adentro. Gov.co.

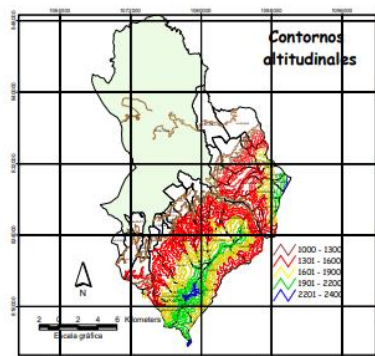
### 6.1.2 Topografía

El territorio ocupado por las comunidades del Resguardo Indígena Páez de López Adentro exhibe una notable diversidad de características de suelo. En la parte occidental, se extienden terrenos planos que permiten la adaptabilidad y el uso de maquinaria agrícola. En contraste, las áreas del sur y este del resguardo presentan pequeñas pendientes que dificultan las actividades agrícolas.

Ante esta limitación, la comunidad ha optado por destinar estas zonas a la reforestación y a la conservación estricta, en respuesta a la pérdida de bosques y a la sequedad del suelo. En cuanto a las áreas ubicadas al norte, estas son propicias para la agricultura agroindustrial, especialmente para cultivos como el arroz, en el cual la comunidad de López Adentro ha desarrollado una especialización notable. Además, estas zonas son aprovechadas para la ganadería y para cultivos destinados al autoconsumo.

### Figura 3

*Contornos Altitudinales.*



*Nota.* Altitudinales. Fuente. De Derecho, E., De Carácter Especial, P., & Arara, L.

(s/f). Plan de Vida y Desarrollo Resguardo Indígena de López Adentro. Gov.co.

### 6.1.3 Demografía

#### 6.1.3.1 Escuelas.

El territorio indígena del Resguardo de López Adentro cuenta con una institución educativa que se encuentra en la vía “Molino Kwe’sx” que agrupa tres sedes de educación primaria, este centro educativo tiene 293 estudiantes.

#### 6.1.3.2 Nivel educativo.

La vereda López Adentro cuenta con 34 niños que estudian la primaria, 40 adolescentes que están en secundaria, 30 que estudian un técnico y 14 estudian en la universidad.

### Figura 4

*Institución educativa DXI PHADEN, López Adentro.*



*Nota.* Ubicación de escuela. Fuente. Google Earth.

### **6.1.3.3 Viviendas.**

De 344 viviendas que existen en el territorio de López Adentro, 227 casas se encuentran en mal estado, ninguna tiene acueducto y 285 tienen electrificación.

### **6.1.3.4 Población.**

La vereda López Adentro cuenta con 290 familia, 427 hombres y 421 mujeres, para un total de 848 personas en total según el plan de vida y de desarrollo del resguardo Indígena 2019-2022.

### **6.1.3.5 Nivel educativo.**

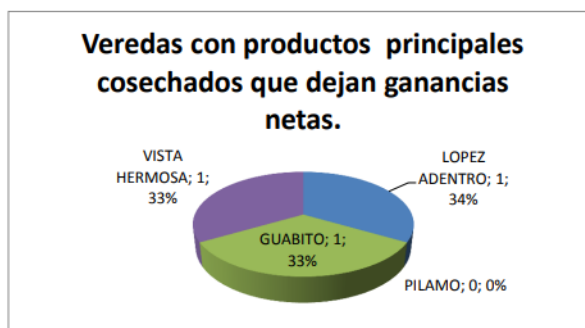
La vereda López Adentro cuenta con 34 niños que estudian la primaria, 40 adolescentes que están en secundaria, 30 que estudian un técnico y 14 estudian en la universidad.

### **6.1.3.6 Sociedad agroindustrial.**

La vereda López Adentro tienen un aumento significativo en la producción de café, maíz, caña y arroz, generándoles ganancias del 34 % netas a la comunidad trabajadora.

## Figura 5

*Diagrama ilustrativo de las ganancias que obtienen las veredas por sus cosechas*



*Nota.* Diagrama de las ganancias por vereda. Fuente. De Derecho, E., De Carácter Especial, P., & Arara, L. (s/f). Plan de Vida y Desarrollo Resguardo Indígena de López Adentro. Gov.co.

### 6.1.3.7 Cantidad de productos vendidos.

López adentro ha aumentado la demanda de productos como la caña, el arroz, el café, piña, yuca y maíz, considerando que hay una empresa arrocera “kwe’sx arroz “que vende gran cantidad de arrobas, generando que las pequeñas familias tengan un ingreso.

## Figura 6

*Diagrama ilustrativo de las arrobas vendidas en las diferentes veredas.*



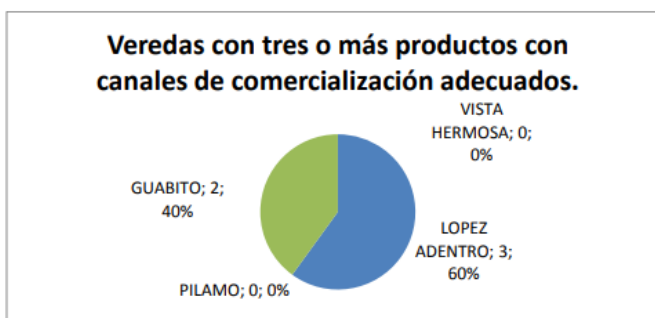
*Nota:* Cantidad de arroz que se vende en las veredas. Fuente. De Derecho, E., De Carácter Especial, P., & Arara, L. (s/f). Plan de Vida y Desarrollo Resguardo Indígena de López Adentro. Gov.co.

### 6.1.3.8 Comercialización de los productos.

Las veredas López Adentro y Guabito tienen canales de comercialización adecuados, desde tiendas comunitarias, comercialización a veredas cercanas y hasta a diferentes ciudades comercializando sus productos de arroz, caña y yuca.

### Figura 7

*Diagrama ilustrativo de las veredas con canales de comercialización.*



*Nota:* Veredas con canales diferentes canales de comercialización. Fuente. De Derecho, E., De Carácter Especial, P., & Arara, L. (s/f). Plan de Vida y Desarrollo Resguardo Indígena de López Adentro. Gov.co.

#### 6.1.3.9 Alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

En la vereda López Adentro, la gestión del agua y el saneamiento enfrenta múltiples desafíos. La ausencia de un sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales es evidente, agravada por la escasez de estudios técnicos adecuados debido a la falta de involucramiento y gestión por parte de las comunidades locales y el municipio. Esta carencia dificulta la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura de agua y saneamiento, a lo que se suma la ejecución problemática de proyectos debido a la falta de apoyo de la alcaldía

local. En resumen, la vereda López Adentro carece de infraestructura básica de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, enfrentando desafíos en la planificación y ejecución de proyectos debido a la falta de estudios técnicos y el limitado apoyo gubernamental.

#### **6.1.3.10 Mantenimiento de vías.**

La vereda López Adentro tiene una infraestructura vial con las siguientes características: tiene 20 kilómetros de vías en su territorio, de las que 16 kilómetros están arborizados, rodeados de vegetación. Sin embargo, solo 1 kilómetro de estas vías arborizadas cuenta con sistemas de desagüe y alcantarillado para gestionar las aguas pluviales y residuales. Además de las vías principales, la vereda dispone de 99 kilómetros de callejones. De estos, solo 5 kilómetros, que corresponden a caminos de herradura, están bien mantenidos y se encuentran en buen estado.

## **6.2 Marco Conceptual**

### ***6.2.1 Topografía***

Para llevar a cabo el levantamiento topográfico, se emplearon dos metodologías especializadas. La primera, conocida como RTK (Kinematic Real-Time Navigation), se basa en un sistema de navegación cinética satelital en tiempo real. Este sistema consta de una estación base y una estación móvil, ambas equipadas con receptores GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) de alta precisión. La estación base registra observaciones continuas de los satélites y transmite correcciones en tiempo real a las

unidades móviles. Esto posibilita la determinación de coordenadas precisas con una exactitud submétrica o incluso centimétrica, con un alcance de hasta 5 km en terrenos planos.

Por otro lado, la fotogrametría, que es la segunda metodología empleada, se basa en el uso de fotografías para medir y cartografiar objetos. Esta técnica se lleva a cabo principalmente con drones equipados con cámaras de alta resolución, los cuales realizan trayectorias programadas alrededor del área de interés. Las fotografías capturan información detallada, incluyendo ángulos, inclinaciones, alturas y ubicaciones precisas, que luego son procesadas por software especializado, como Pix4DMapper, para generar un Modelo Digital de Elevación (DEM). La combinación de estas dos técnicas proporciona una solución integral a los desafíos de tiempo y precisión en el levantamiento topográfico, asegurando una representación completa y precisa del área estudiada. Mientras que el RTK ofrece puntos de control exactos y georreferenciados, la fotogrametría permite la adquisición rápida y detallada de información del terreno.

## ***6.2.2 Diseño geométrico***

### **6.2.2.1 Peralte.**

El peralte de una vía se refiere a la inclinación transversal de la carretera o vía para contrarrestar la fuerza centrífuga y proporcionar estabilidad a los vehículos que circulan a velocidad. Hay varias fórmulas y métodos para calcular el peralte de

una vía, dependiendo de diversos factores como la velocidad de diseño, el radio de la curva, la aceleración gravitatoria y otros parámetros.

$$\text{Tan}\alpha: \left( \frac{V^2}{gR} \right)$$

$\alpha$ : Ángulo de peralte

V: Velocidad

R: Radio de giro

g: Aceleración gravitatoria.

La longitud total de la transición de peralte se define mediante la siguiente ecuación:

$$L_t: L + N$$

$$N: \left( \frac{BN \times L}{e_f} \right)$$

$L_t$ : Longitud total de transición, en metros.

L: Longitud del punto donde el peralte es cero al punto del peralte total en la curva circular, en metros.

N: Aplanamiento, en metros.

BN: Bombeo normal (vía pavimentada BN = 2%)

$e_f$ : Peralte total, en porcentaje (%).

También se requiere una rampa de peralte que se define como la diferencia relativa que existe entre la inclinación del eje longitudinal de la calzada y la inclinación del borde de esta y puede ser determinado o sacado de las tablas de la norma INVIAS.

$$\Delta s: a * \left( \frac{e_f - e_i}{L} \right)$$

$\Delta s$ : Inclinación longitudinal de la rampa de peraltes, en porcentaje (%).

L: Longitud de transición.

$L = L_t - N$ , en metros.

$e_f$ : Peralte al finalizar el tramo de transición o peralte total, en porcentaje (%).

$e_i$ : Peralte al iniciar el tramo de transición, en porcentaje (%).

a: Distancia del eje de giro al borde exterior de la calzada, en metros.

### **6.2.2.2 Curvas circular simple.**

Una curva circular simple es un arco de circunferencia con un solo radio que conecta dos tangentes consecutivas en una carretera. El radio de la curva es determinado por el diseñador según la conveniencia y la economía en la construcción, mantenimiento y funcionamiento, pero debe cumplir con los estándares establecidos por el INVIAS en relación con la velocidad de diseño. Es importante que el radio no sea menor al especificado por la normativa para garantizar la seguridad y la eficiencia del tráfico en la vía.

$$T: R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$\Delta$  : El que se forma con la prolongación de uno de los alineamientos rectos y el siguiente. Puede ser a la izquierda o a la derecha según si está medido en sentido antihorario o a favor de las manecillas del reloj, respectivamente. Es igual al ángulo central subtendido por el arco.

T: Tangente: distancia desde el punto de intersección (PI) hasta cualquiera de los puntos de tangencia de la curva (PC o PT), el cálculo de esta se realiza mediante la ecuación.

PC: Principio de curva: punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.

PT: Principio de tangente: punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.

R: El de la circunferencia que describe el arco de la curva, el cálculo de esta se realiza mediante la siguiente ecuación.

$$R: \frac{T}{\tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)}$$

CL: Cuerda larga: Línea recta que une al punto de tangencia donde comienza la curva (PC) y al punto de tangencia donde termina (PT), el cálculo de esta se realiza mediante la siguiente ecuación.

$$CL: 2 * R * \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

E: Externa: Distancia desde el PI al punto medio de la curva sobre el arco, el cálculo de esta se puede realizar mediante las ecuaciones mostradas a continuación.

$$E: T * \tan\left(\frac{\Delta}{4}\right)$$

M: Media: Distancia desde el punto medio de la curva hasta el punto medio de la cuerda larga, el cálculo de esta se realiza mediante la ecuación siguiente:

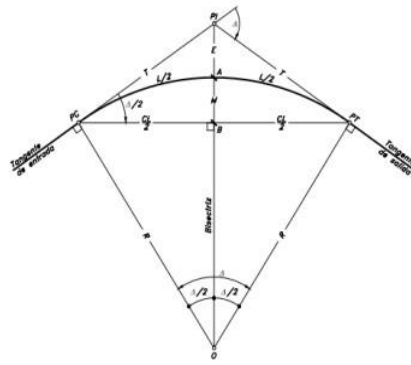
$$M: R * \left(1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right)$$

L: Longitud de la curva: Distancia desde el PC hasta el PT recorriendo el arco de la curva, el cálculo de esta se realiza mediante la ecuación:

$$L_{\text{arco}}: \frac{2 * \pi * R}{\frac{360}{\Delta}}$$

### Figura 8

*Elementos geométricos de una curva circular simple.*



*Nota.* Ilustración gráfica de una curva circular simple. Fuente. Diseño geométrico de carreteras (2013).

#### 6.2.2.3 Curvas espirales.

Una curva espiral es una curva que comienza en un punto fijo y tiene un radio que cambia gradualmente a medida que avanza a lo largo de su longitud. Su geometría está definida por un rumbo de inicio, un radio inicial, un radio final y una longitud de arco o ángulo delta. Estas curvas se utilizan comúnmente en el diseño de carreteras y vías ferroviarias para permitir una transición suave y segura entre rutas circulares, líneas rectas o áreas fuera de ellas, facilitando el desplazamiento de vehículos en movimiento.

$$L: \left( \frac{V^3}{6 \cdot R} \right) * \left( \frac{\Delta}{100} \right)$$

L: Longitud de la espiral

V: Velocidad de diseño

R: Radio de curva circular

$\Delta$  : Deflexión angular total

$$LC: R * \theta$$

LC: Longitud de la cuerda

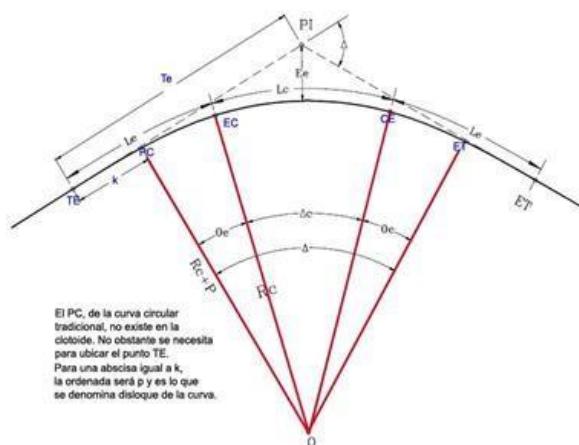
R: Radio de curva circular

$\theta$ : Deflexión angular

$$T: \left( \frac{2 \cdot L}{LC} \right)$$

### Figura 9

Elementos geométricos de una curva circular espiral.



*Nota.* Ilustración gráfica de una curva circular espiral. Fuente. Diseño geométrico de carreteras (2013).

#### 6.2.2.4 Curvas Espirales Circulo Espiral.

Es una transición comúnmente utilizada en el diseño geométrico de carreteras y vías férreas para conectar segmentos rectos de carretera con curvas circulares (o viceversa) de manera suave. Este tipo de curva permite una transición gradual entre la línea recta y la curva, reduciendo las fuerzas centrífugas que afectan a los vehículos y mejorando la seguridad y confort de los conductores.

La espiral es una curva cuya curvatura varía linealmente con su longitud. Es decir, comienza con curvatura cero (en el punto donde se une con la recta) y

aumenta hasta alcanzar la curvatura de la curva circular (en el punto de tangencia con el círculo).

Se determina los parámetros geométricos que son el radio de la curva, longitud de la espiral, para luego, calcular la curvatura de la espiral desde 0 en el punto de inicio de la espiral hasta el punto donde la espiral se une con la curva circular.

Determinando el cálculo de la longitud de la espiral.

$$L: \sqrt{2R\Delta\theta}$$

Para calcular las coordenadas (X, Y) de cualquier punto en la espiral calculando la serie de Fresnel:

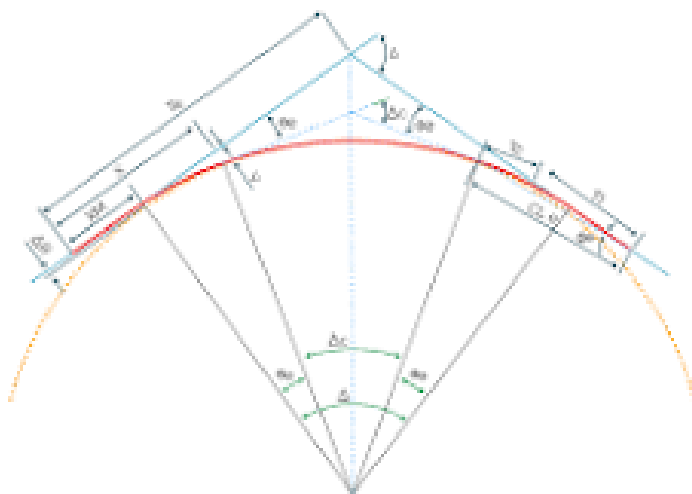
$$x(s) = \int_0^s \cos\left(\frac{\theta}{L}\right) d\theta$$

$$y(s) = \int_0^s \sin\left(\frac{\theta}{L}\right) d\theta$$

Donde el punto final de la espiral se conectará tangencialmente con la curva circular. La longitud de la espiral y su curvatura en el extremo deben coincidir con el radio de la curva circular.

**Figura 10**

*Elementos geométricos de una curva circular espiral circulo espiral.*



*Nota.* Ilustración gráfica de una curva circular espiral circulo espiral. Fuente. Diseño geométrico de carreteras (2013).

### 6.2.3 Hidráulica

#### 6.2.3.1 Caudal de diseño.

Para desarrollar el diseño de cunetas lo más importante es conocer el caudal que va a transportar la estructura. El Manual de Drenajes para Carreteras de INVIAS nos proporciona la ecuación para hallar el caudal de diseño mediante el método racional.

$$Q: C * I * A$$

Q: Caudal de diseño en m<sup>3</sup>/s.

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad en mm/h

A: Área en m<sup>2</sup>.

### 6.2.3.2 Intensidad.

Es necesario conocer los datos de lluvia que se encuentran en la página del IDEAM para el municipio de Caloto, Cauca. Con esto podremos calcular la intensidad que, según el manual de drenajes para carreteras de INVIAS está dada por la siguiente ecuación:

$$i: \frac{a * T * M}{\frac{t}{60}}$$

i: Intensidad de precipitación

T: Periodo de retorno

M: Precipitación máxima

t: Duración de la lluvia

**Tabla 2**

*Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculos de las curvas intensidad-duración-frecuencia- IDF para Colombia.*

REGIÓN		a	b	c	d
Andina	(R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe	(R2)	24.85	0.22	0.5	0.1
Pacífico	(R3)	13.92	0.19	0.58	0.2
Orinoquía	(R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

*Nota.* Clasificación de la región para calcular las curvas IDF. Fuente. Manual de Drenaje de Carreteras de INVIAS.

### **6.2.3.3 Coeficiente de escorrentía.**

Los coeficientes de escorrentía se encuentran en internet ya que son datos típicos de estudios hechos en los materiales correspondientes, haciendo una investigación se encontraron las siguientes tablas.

**Tabla 3**

*Coefficientes de escorrentía para pavimentos.*

<b>COEFICIENTES DE ESCORRENTIA.</b>					
<b>TIPO DE SUPERFICIE</b>			<b>Para lluvias de duración</b>		
			<b>Corta</b>	<b>Larga</b>	
<b>SIN PAVIMENTAR</b>				0,10 a 0,30	
	Asfálticos			0,85 a 0,90	1,00
	Mezclas bituminosas			0,90 a 1,00	1,00
	Adoquinado	Ordinario		0,50 a 0,70	0,95
		Rejuntado		0,80 a 0,85	0,95
	Con juntas	Estancas	0,70 a 0,80	1,00	
		Abiertas	0,60 a 0,70	1,00	
<b>PAVIMENTOS</b>	Empedrado	Ordinario		0,15 a 0,30	0,80
		De mosaico		0,40 a 0,50	0,80
	Macadam	Ordinario		0,25 a 0,50	0,80
		Bituminoso		0,70 a 0,90	1,00
	Hormigón			0,90 a 1,00	1,00
	Ladrillo			0,70 a 0,95	1,00
Grava			0,20 a 0,30	0,60	
<b>CUBIERTAS</b>	Impermeables			0,70 a 0,95	1,00
	Tejados y azoteas			0,90 a 1,00	1,00
<b>SUPERFICIES IMPERMEABLES, INMUEBLES, VIARIOS Y PLAZAS PÚBLICAS</b>			0,90 a 1,00	1,00	

*Nota.* Coeficiente de escorrentía, según el tipo de superficie y la duración de lluvia. Fuente. Coeficiente de escorrentía. (s. f.).

**Tabla 4**

*Coefficientes de escorrentía zonas rurales*

Coeficiente de escorrentía (Zonas Rurales).						
Cobertura Vegetal	Permeabilidad del Suelo	Pendiente del Terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		>50%	>20%	>5%	>1%	<1%
Sin Vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50

*Nota.* Coeficiente de escorrentía zona rural, según la pendiente del terreno.

Fuente. Coeficiente de escorrentía. (s. f.).

#### 6.2.3.4 Longitud máxima entre cunetas.

La longitud máxima entre cunetas se refiere a la capacidad que tiene la estructura para transportar la escorrentía antes de que se desborde el agua. El Manual de INVIAS nos proporciona la siguiente ecuación para este cálculo.

$$L_{m\acute{a}x} = \frac{R^{2/3} * S_0^{0.5} * A_{cuneta}}{2.78 * 10^{-7} * n * C_e * I * W_{impluvium}}$$

$L_{m\acute{a}x}$ : distancia máxima entre cámaras de recolección antes de que se desborde la cuneta, en metros.

R: Radio hidráulico, en metros.

So: Pendiente longitudinal de la vía, en m/m.

Acuneta: Área mojada de la cuneta, en m<sup>2</sup>.

N: Coeficiente de rugosidad.

Ce: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad, en mm/hora.

Wimpluvium: Distancia que se considera que va a escurrir hacia la cuneta, en metros

#### **6.2.3.5 Chequeo de cunetas.**

Para saber si la cuneta va a ser capaz de transportar toda la escorrentía nos remitimos a la ecuación de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} \left( A R^{2/3} S^{1/2} \right)$$

Q: Caudal de diseño en m<sup>3</sup>/s.

n: Coeficiente de rugosidad de Manning.

A: Área mojada en m<sup>2</sup>.

R: Radio hidráulico en m.

S: Pendiente en m/m.

### 6.2.3.6 Cálculo de diámetro de alcantarilla.

Despejando el diámetro de la ecuación de Manning, se obtiene la ecuación para el diámetro de la alcantarilla.

$$D = \frac{2^{13/8} \theta^{1/4}}{(\theta - \sin \theta)^{5/8}} \left( \frac{Q \cdot n}{\sqrt{S}} \right)^{3/8}$$

D: Diámetro de la tubería en m.

$\theta$ : Diámetro interno entre el centro de la tubería y el nivel del agua.

Q: Caudal de diseño en m<sup>3</sup>/s.

n: Coeficiente de rugosidad de Manning.

S: Pendiente en m/m.

De esta ecuación se obtiene el diámetro máximo de la tubería por el cual el caudal saldrá hacia el terreno.  $\theta$  será  $2\pi$  para una tubería completamente llena que sería el caso más crítico. El Manual de Drenajes para Carreteras de INVIAS dice que el diámetro mínimo para una tubería de alcantarilla es de 0,9 metros.

#### **6.2.4 Estabilización de taludes**

En la ingeniería civil, la estabilidad de los taludes es crucial. Para abordar este aspecto, se utiliza la herramienta Slide, que modela el comportamiento de los taludes. En este proyecto, se aplicó el método Morgenstern-Price, basado en la teoría del equilibrio y el análisis por rebanadas, considerando un factor de seguridad determinado. Este enfoque proporciona una base sólida para evaluar y diseñar medidas de estabilización de taludes, contribuyendo a la seguridad de las obras civiles.

$$FS = \frac{\text{Fuerza Resistente}}{\text{Fuerza Desestabilizadora}}$$

Las Fuerzas Resistentes incluyen el peso del suelo, la cohesión del suelo y la fricción interna.

Las Fuerzas Desestabilizadoras pueden incluir la presión del agua, las cargas aplicadas externamente, entre otras.

##### **6.2.4.1 Método Morgenstern Price.**

El método de Morgenstern-Price inicia identificando las propiedades del suelo, como su cohesión y ángulo de fricción interna. Luego, divide el talud en rebanadas para analizar cada sección de manera independiente y determinar su potencial de deslizamiento. Durante este proceso, se examina el equilibrio de

fuerzas en cada corte, considerando tanto las fuerzas de resistencia como las impulsoras.

Las fuerzas de resistencia abarcan la fricción entre partículas y la cohesión del suelo, mientras que las fuerzas impulsoras incluyen el peso propio del suelo, la presión del agua y las cargas externas.

Finalmente, se calcula el factor de seguridad contra el deslizamiento, comparando las fuerzas de resistencia con las impulsoras. Este factor de seguridad proporciona una medida crucial para determinar la estabilidad del talud y tomar decisiones informadas en el diseño y la implementación de medidas de estabilización.

#### **6.2.5 Pavimento**

El diseño de pavimento para una vía terciaria es esencial considerar las normativas establecidas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia, así como realizar una serie de estudios técnicos que proporcionen la información necesaria para garantizar la calidad y durabilidad de la infraestructura vial.

El diseño de pavimento de una vía terciaria comienza con un estudio de tráfico, conforme a lo estipulado por las normativas del INVIAS, donde se recopilan datos sobre el flujo vehicular y se clasifica la vía de acuerdo con su nivel de servicio. Este estudio permite determinar la carga que soportará el pavimento y establecer los parámetros necesarios para el diseño estructural.

Posteriormente, se lleva a cabo un estudio geotécnico que cumple con las especificaciones del INVIAS, el cual evalúa las características del suelo de la subrasante.

Paralelamente, se realiza un estudio topográfico conforme a las normativas del INVIAS, que proporciona información detallada sobre el relieve del terreno y la geometría de la vía. Además, se lleva a cabo un estudio hidrológico, de acuerdo con las normativas del INVIAS, para evaluar el drenaje de la vía y prevenir problemas de inundación y erosión.

Al integrar estos estudios técnicos con las normativas del INVIAS, se asegura que el diseño de pavimento para una vía terciaria cumpla con los estándares de calidad, seguridad y sostenibilidad requeridos, contribuyendo así al desarrollo de una infraestructura vial eficiente y duradera.

### **6.3 Marco teórico**

Para la formulación y desarrollo de este estudio, se emplearán tanto fuentes primarias como secundarias. Las fuentes primarias implicarán la realización de observaciones directas y actividades de trabajo de campo con el propósito de llevar a cabo un diagnóstico integral del estado de la vía terciaria en el municipio de Caloto-López Adentro. Por otro lado, las fuentes secundarias abarcarán la revisión de literatura especializada relacionada con la optimización de vías terciarias, así como la recopilación de datos provenientes del Resguardo Indígena López Adentro. Además, en el marco teórico se considerará toda la normativa vigente del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para garantizar un enfoque completo y actualizado en el análisis y propuestas de mejoramiento de la vía.

#### ***6.3.1 Estado actual de la red terciaria municipio de Caloto Cauca – resguardo López Adentro***

Realizando una inspección visual con Google Earth, con el sistema de información vías de INVIAS y una salida de campo se determinó que la vía es una carretera transitable en tiempo seco, pero no cuenta con una carpeta de rodadura demostrando así el estado lamentable en el que se encuentra esta vía.

**Figura 11***Entrada López Adentro*

*Nota.* Imagen actual de la entrada vial tramo López adentro. Fuente. Street view Google Maps.

**Figura 12**

*Estado actual en K0+620*



*Nota.* Imagen actual de la entrada vía tramo kwe'sx – López adentro. Fuente.

Propia.

**Figura 13**

*Estado actual en K0+720*



*Nota.* Imagen actual de la vía tramo intermedio kwe'sx – López adentro. Fuente.

Propia.

**Figura 14**

*Estado actual del tramo final (molino) K3+893*



*Nota.* Imagen actual de la vía tramo final kwe'sx – López adentro. Fuente. Propia.

Basándonos en la información recopilada, se evidencian daños tanto superficiales como estructurales de carácter generalizado en la vía terciaria del Resguardo López Adentro, principalmente atribuidos a la ausencia de sistemas de drenaje adecuados y a la falta de mantenimiento tanto rutinario como periódico. Estos daños presentan un nivel de gravedad medio. Por consiguiente, se hace imperativo implementar alternativas destinadas a corregir dichos defectos y mejorar la condición general de la vía.

### ***6.3.2 Evaluación de las condiciones del terreno***

En Colombia, los levantamientos topográficos están rigurosamente regulados por diversas normas técnicas que aseguran la precisión y calidad de los datos recolectados. Entre estas, se destacan la Norma Técnica Colombiana NTC 6271 y las resoluciones del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) No. 1392 y No. 643. Estas normativas establecen los estándares y procedimientos que deben seguirse en los levantamientos topográficos, especificando los requisitos de precisión, la planificación adecuada, el procesamiento correcto de los datos y las tolerancias permitidas.

La NTC 6271 establece los lineamientos para realizar levantamientos topográficos con altos estándares de precisión y calidad. Esta norma especifica los requisitos de precisión para diferentes tipos de levantamientos, como urbanos, rurales y catastrales, definiendo los márgenes de error permitidos en las mediciones. También incluye directrices para la planificación del levantamiento, asegurando una adecuada cobertura y distribución de puntos de control.

Por otro lado, la Resolución IGAC No. 1392 del 27 regula los procedimientos y requisitos técnicos para la elaboración de levantamientos topográficos en Colombia. Define los estándares de precisión específicos que deben cumplirse según el uso del levantamiento, ya sea para cartografía, catastro u otros fines. La resolución detalla los pasos a seguir en la planificación de los levantamientos, asegurando una cobertura adecuada y evitando errores de medición.

El cumplimiento de la NTC 6271 y las resoluciones IGAC No. 1392 del 27 es crucial para garantizar que los levantamientos topográficos en Colombia se realicen con un alto grado de precisión y calidad.

### **6.3.3 Propuesta para el mejoramiento de la red vial terciaria del municipio de Caloto – López Adentro**

Como primer parámetro, partiendo de tabla 2.1 del Manual de (INVIAS, 2008) definimos la velocidad VTR como 40 km/h que es la máxima permitida para una vía terciaria con un tipo de terreno plano.

#### **Tabla 5**

*Tabla 2.1 manual de INVIAS*

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO $V_{TR}$ (km/h)												
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110			
Primaria de dos calzadas	Plano													
	Ondulado													
	Montañoso													
	Escarpado													
Primaria de una calzada	Plano													
	Ondulado													
	Montañoso													
	Escarpado													
Secundaria	Plano													
	Ondulado													
	Montañoso													
	Escarpado													
Terciaria	Plano													
	Ondulado													
	Montañoso													
	Escarpado													

*Nota.* Tabla del manual de INVIAS para determinar la velocidad de diseño. Fuente.

INVIAS. (2008). Manual de Diseño Geométrico de carreteras.

Además, para realizar las alternativas se tuvo en cuenta que las estas no superaran el 10% de pendiente con relación con la VTV, que en este caso es igual a la VTR.

**Tabla 6**

*Velocidad específica Vtv Tabla 4.2 manual de INVIAS*

CATEGORÍA DE LA DE CARRETERA	VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL $V_{TV}$ (Km/h)												
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5	4	4	
Primaria de una calzada	-	-	-	-	8	7	6	6	5	5	5	-	
Secundaria	-	-	10	9	8	7	6	6	6	-	-	-	
Terciaria	14	12	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-	

*Nota.* Tabla del manual de INVIAS para determinar la velocidad específica de diseño. Fuente. INVIAS. (2008). Manual de Diseño Geométrico de carreteras.

**Tabla 7***Radios mínimos para peralte máximo*

VELOCIDAD ESPECÍFICA ( $V_{Ch}$ ) (km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{Tmáx}$	TOTAL $e_{máx} + f_{Tmáx}$	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
20	6,0	0,35	0,41	7,7	15 <sup>(1)</sup>
30	6,0	0,28	0,34	20,8	21
40	6,0	0,23	0,29	43,4	43
50	6,0	0,19	0,25	78,7	79
60	6,0	0,17	0,23	123,2	123

*Nota.* Tabla del manual de INVIAS para determinar el peralte máximo, considerando que la velocidad específica es de 40 km/h. Fuente. INVIAS. (2008). Manual de Diseño Geométrico de carreteras.

**Tabla 8**

*Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peralte*

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V <sub>CH</sub> ) (km/h)	PENDIENTE RELATIVA DE LA RAMPA DE PERALTES $\Delta s$	
	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	

*Nota.* Tabla del manual de INVIAS para determinar la pendiente relativa de la rampa de peraltes, considerando que la velocidad específica es de 40 km/h. Fuente: INVIAS. (2008). Manual de Diseño Geométrico de carreteras.

Debido al contexto que se tuvo de la vía, los trazados se plantearon buscando el mayor aprovechamiento de la vía existente, mejorando las curvas que representan un riesgo para el usuario, ya que no cumplían con los requerimientos mínimos planteados por (INVIAS, 2008). Las escuelas y centros deportivos son puntos clave para la comunidad, motivo por el que no se realizó cambios en trazados que atravesaran dichos lugares.

#### **6.3.4. Criterios de diseño geométrico**

De acuerdo con las características predominantes del corredor existente y a las exigencias de los términos de referencia se procedió a establecer los criterios de diseño que se ajustara a estas condiciones, buscando el mejor diseño desde el punto de vista técnico y económico.

Para el Diseño Geométrico se debe cumplió con el siguiente manual de diseño: Manual de diseño geométrico de carreteras 2008 del MINISTERIO DE TRANSPORTE.

##### **6.3.4.1 Velocidad de diseño.**

La vía Tramo Molino Kwe'sx- López Adentro se construirá en una calzada bidireccional.

De acuerdo con las características de la topografía (terreno plano) y la categoría de la carretera a diseñar según lo estipulado por el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 del INVIAS, se adoptó una velocidad de diseño para todo el corredor de  $V_d = 40 \text{ Km/h}$ .

##### **6.3.4.2 Vehículo de diseño.**

El vehículo representativo que puede circular por cada uno de los tramos del Proyecto se denomina vehículo de diseño. La selección del vehículo de diseño incide en el dimensionamiento de los anchos de carril, calzada, bermas y sobre anchos de la sección transversal, el radio mínimo de giro en el diseño de las intersecciones y el gálibo bajo las estructuras (pasos elevados).

Debido a que los accesos presentan mínimo volumen vehicular y priman los vehículos ligeros. Adoptamos como vehículo de diseño de los accesos el Camión Categoría 2.

#### **6.3.4.3 Peralte máximo.**

El Manual Para Diseño Geométrico de Carreteras del Ministerio de Transporte 2008 en su numeral 3.1.3.2, establece el valor del peralte máximo, que depende del tipo de vía así:

Para carreteras terciarias, el cual es el caso de nuestro diseño se adoptó un peralte máximo para todo el corredor:  $e_{max} = 6\%$

#### **6.3.4.4 Radios mínimos.**

Siguiendo lo indicado en el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 del Ministerio de Transporte, en su numeral 3.1.3.4. Tabla 3.3 “Radios mínimos para peralte máximo  $e_{max} = 6\%$ , se tomó como Radio mínimo  $R_{min} = 43$  m.

#### **6.3.4.5 Longitud mínima de espirales ( $L_e$ ).**

Las longitudes de transición se consideran a partir del punto donde el borde exterior del pavimento comienza a elevarse partiendo de la zona de aplanamiento, hasta el punto donde se forma el peralte total de la curva.

Siguiendo lo indicado en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte, en el numeral 3.2. “Transición de peralte”. Donde “a” es la distancia del eje de giro al borde exterior de la calzada, en metros.

Para garantizar condiciones de tipo dinámico, geométrico y estético, es necesario calcular la longitud de espiral mínima para cada curva a partir de la velocidad de diseño y del peralte específico requerido en cada curva del alineamiento. Dicha longitud se determinó para cada curva empleando los criterios del numeral 3.3 del Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 del Ministerio de Transporte.

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{V_{CH} \times R_C}{46.656 \times J} \left[ \frac{V_{CH}^2}{R_C} - (1.27 \times e) \right]}$$

Donde:

$A_{\min}$ : Parámetro mínimo, en metros

$V_{CH}$ : Velocidad Específica de la curva horizontal, en km/h.

$R_C$ : Radio de cálculo de la clotoide, en metros.

$J$ : Variación de la aceleración centrífuga, en m/s<sup>3</sup>.

$e$ : Peralte de la curva, en porcentaje (%).

**Tabla 9***Valores para J.*

<b>V<sub>CH</sub> (km/h)</b>	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
<b>J (m/s<sup>3</sup>)</b>	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4

*Nota.* Tabla del manual de INVIAS para determinar los valores de J considerando que la velocidad especifica es de 40 km/h. Fuente. INVIAS. (2008). Manual de Diseño Geométrico de carreteras.

$$A_{\min} = \sqrt{R_C \times \frac{e \times a}{\Delta s}}$$

A<sub>mín</sub>: Parámetro mínimo, en metros.

RC: Radio de Cálculo de la clotoide, en metros

e: Peralte de la curva, en porcentaje (%).

a: Distancia del eje de giro al borde de la calzada, en metros.

s: Inclinación de la rampa de peraltes, en porcentaje (%).

$$A_{\min} \geq \sqrt[4]{6 \times R_C^3}$$

$A_{\min}$ : Parámetro mínimo, en metros.

$\Delta R$ : Disloque de la clotoide, en metros.

$R_C$ : Radio de cálculo de la clotoide, en metros.

$$A_{\min} = \sqrt{R_C \times L_e} = 0.3236 \times R_C$$

$A_{\min}$ : Parámetro mínimo, en metros.

$R_C$ : Radio de cálculo de la clotoide, en metros.

$L_e$ : Longitud de la clotoide, en metros.

$e$ : Ángulo de giro de la espiral

De acuerdo con los criterios de diseño del Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 del Ministerio de Transporte se estableció una  $L_e = 45$  m, con un radio de diseño de  $= 160$ .

#### **6.3.4.6 Longitud máxima de la curva espiral.**

El valor máximo del parámetro ( $A_{máx}$ ), debe ser igual a uno punto uno veces (1.1) el Radio (RC) de la curva en estudio. Dando como resultado un  $A_{max} = 176$

#### **6.3.4.7 Entretangencia Horizontal mínima.**

Siguiendo lo indicado en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte, en su numeral 3.4.1, y teniendo en cuenta la Velocidad de diseño,  $V_d=40$  Km/h, se tomó como distancia horizontal mínima:

- Para curvas espirales de distinto sentido Se puede prescindir de tramos de entre tangencia rectos.
- Curvas circulares distinto sentido = 55.56 m
- Curvas espirales mismo sentido = 55.56 m
- Curvas circulares mismo sentido = 166 m

#### **6.3.4.8 Entretangencia Horizontal máxima.**

máxima = 600 m

#### **6.3.4.9 Especificaciones generales de diseño en perfil.**

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte, en el capítulo 4 indica las especificaciones de diseño en perfil del eje de la carretera. La inclinación de las tangentes verticales y la longitud de las curvas dependen principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad

del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en los ascensos.

#### 6.3.4.10 Pendiente longitudinal mínima.

Siguiendo lo indicado en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte en su numeral 4.1.1. La pendiente mínima que garantiza el adecuado funcionamiento de las cunetas debe ser de cero punto cinco por ciento (0.5%) como pendiente mínima deseable y cero punto tres por ciento (0.3%) para diseño en terreno plano o sitios donde no es posible el diseño con la pendiente mínima deseable.

#### 6.3.4.11 Pendiente longitudinal máxima.

**Tabla 10**

*Velocidad máxima de la tangente vertical.*

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL $V_{TV}$ (km/h)											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5	4	4
Primaria de una calzada	-	-	-	-	8	7	6	6	5	5	5	-
Secundaria	-	-	10	9	8	7	6	6	6	-	-	-
Terciaria	14	12	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-

*Nota.* Tabla del manual de INVIAS para determinar la pendiente considerando que la velocidad específica es de 40 km/h. Fuente. INVIAS. (2008). Manual de Diseño Geométrico de carreteras.

### 6.3.4.12 Parámetros curvas verticales.

**Tabla 11**

*Parámetros para curvas verticales.*

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 <sup>(1)</sup>
30	35	1.9	2.0	5.1	6.0	20 <sup>(1)</sup>
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

*Nota.* Tabla del manual de INVIAS para determinar los valores de  $k_{min}$  considerando que la velocidad específica es de 40 km/h. Fuente. INVIAS. (2008).

Manual de Diseño Geométrico de carreteras.

$K_{min}$  curva convexa = 4

$K_{min}$  curva cóncava = 9

### ***6.3.6 Principio fundamental de la hidráulica***

El diseño de cunetas se fundamenta en el Manual de Drenajes para Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Este manual proporciona directrices detalladas, cálculos, fórmulas y valores mínimos y máximos necesarios para el drenaje de la escorrentía y otras aguas que puedan afectar las carreteras. La implementación de estas directrices es crucial para garantizar la durabilidad y seguridad de las infraestructuras viales, evitando problemas como la erosión y el deterioro de la superficie de la carretera.

#### **6.3.6.1 Directrices Específicas del Manual de Drenajes para Carreteras de INVIAS.**

Capítulo 2.6.6.2 este capítulo se enfoca en el cálculo de las curvas IDF utilizando datos históricos de precipitación. Las curvas IDF son esenciales para determinar la intensidad de la lluvia en diferentes periodos de retorno, lo que permite diseñar sistemas de drenaje capaces de manejar las tormentas más severas previstas para una región específica.

Capítulo 4.2.4 este capítulo ofrece un enfoque detallado para el diseño de cunetas, especificando las dimensiones y las características necesarias para garantizar un drenaje adecuado. Las cunetas son canales construidos a lo largo de los bordes de las carreteras para captar y conducir la escorrentía superficial, evitando que el agua se acumule en la calzada.

Capítulo 4.4 este capítulo aborda el diseño de alcantarillas, que son estructuras subterráneas destinadas para permitir el paso del agua bajo las carreteras. Las alcantarillas deben ser diseñadas para manejar el flujo de agua sin causar obstrucciones ni erosionar el terreno circundante.

En resumen, el Manual de Drenajes para Carreteras de INVIAS ofrece una guía comprensiva para el diseño de sistemas de drenaje eficientes y seguros. La aplicación de estos principios en el diseño de cunetas y alcantarillas es vital para la gestión adecuada de la escorrentía, asegurando la longevidad y funcionalidad de las infraestructuras viales en Colombia.

#### ***6.3.7 Principio fundamental de la estabilización de taludes***

La estabilización de taludes es una disciplina esencial en la ingeniería geotécnica, cuya finalidad es garantizar la seguridad y estabilidad de pendientes naturales o artificiales. Esta práctica implica la evaluación y aplicación de diversas técnicas para prevenir deslizamientos de tierra y otros eventos geológicos que puedan comprometer la integridad estructural de infraestructuras civiles y la seguridad de las personas.

#### **6.3.7.1 Factor de seguridad.**

El factor de seguridad (FS) es una medida fundamental en el análisis de estabilidad de taludes. Representa la relación entre las fuerzas resistentes al deslizamiento y las fuerzas que tienden a provocar el deslizamiento.

Un FS mayor que 1 indica que el talud es estable bajo las condiciones analizadas, mientras que un FS menor que 1 sugiere un riesgo de falla inminente. Este cálculo es esencial para determinar la seguridad y viabilidad de proyectos de estabilización.

#### **6.3.7.2 Análisis de esfuerzos efectivos.**

El análisis de esfuerzos efectivos es crucial para entender el comportamiento de los suelos bajo diferentes condiciones de carga y humedad. Este análisis permite evaluar cómo la presión de agua en los poros del suelo afecta su capacidad para resistir fuerzas desestabilizadoras. Un aumento en la presión de poro puede disminuir los esfuerzos efectivos, reduciendo la resistencia del suelo y aumentando el riesgo de deslizamiento.

Comprender los factores que afectan la estabilidad, junto con la correcta selección e implementación de métodos de estabilización, es esencial para prevenir fallas y asegurar la seguridad de infraestructuras y vidas humanas. El "Manual de Estabilidad de Taludes Geotécnica Vial INVIA 1998" proporciona directrices fundamentales, especialmente en lo que respecta al cálculo del factor de seguridad

y el análisis de esfuerzos efectivos, que son pilares en el diseño y evaluación de proyectos de estabilización de taludes.

### **6.3.8 Pavimentos**

Para una vía terciaria, es crucial considerar las normativas establecidas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y el Manual de Diseño de Pavimento Asfáltico. Estas normas y directrices proporcionan el marco fundamental para garantizar la calidad, durabilidad y seguridad de los pavimentos en este tipo de vías, que generalmente son de menor volumen de tráfico y menor importancia funcional que las carreteras principales.

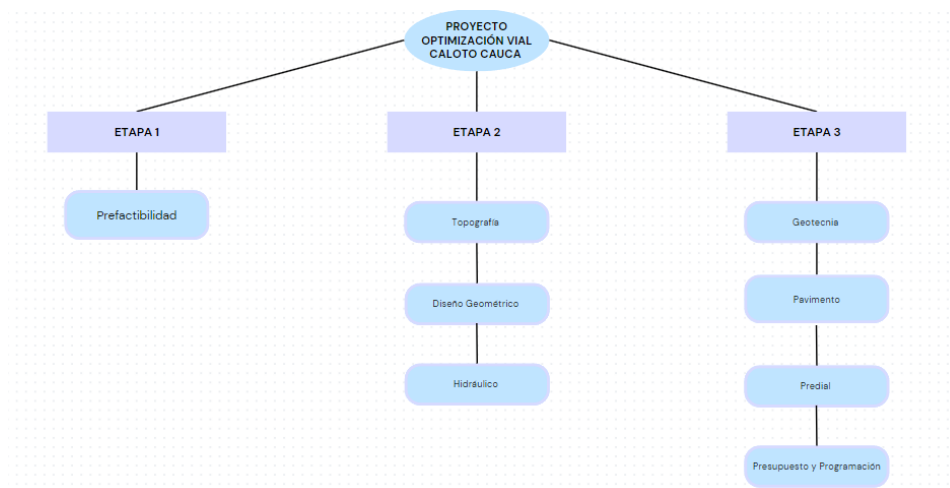
En INVIAS establece especificaciones técnicas y requisitos de diseño que deben cumplirse para la construcción y mantenimiento de vías terciarias. Por otro lado, el Manual de Diseño de Pavimento Asfáltico proporciona directrices detalladas sobre el diseño de mezclas asfálticas, el diseño estructural de pavimentos, el drenaje, el mantenimiento y la rehabilitación.

Al integrar las normativas del INVIAS y las recomendaciones del Manual de Diseño de Pavimento Asfáltico, se asegura que el diseño de pavimentos para vías terciarias cumpla con los estándares de calidad y seguridad necesarios para garantizar una adecuada funcionalidad y durabilidad de la infraestructura vial. Esto incluye la selección adecuada de materiales, el diseño estructural apropiado, y la implementación de prácticas de construcción y mantenimiento que aseguren la integridad y estabilidad de los pavimentos a lo largo de su vida útil

## 7. Metodología

**Figura 15**

*Organigrama Fases de investigación y desarrollo.*



*Nota.* Organigrama de las etapas del proyecto de investigación. Fuente. Propia.

### 7.1 Etapa 1

Se ha completado la etapa de estudio de prefactibilidad del proyecto, que ha implicado una evaluación exhaustiva del estado actual de la vía en cuestión. Este análisis ha abordado aspectos fundamentales como el estado de la pavimentación, la eficacia del drenaje, la calidad de la señalización y la capacidad estructural. Además, se realizó un examen detallado del tráfico vehicular, considerando el volumen de vehículos, su diversidad y los patrones de movilidad.

Paralelamente, se llevó a cabo una evaluación del posible impacto ambiental y social que podría derivarse del proyecto de mejoramiento vial. Este análisis consideró aspectos cruciales como la preservación de la biodiversidad, la protección de los recursos hídricos y la consideración de aspectos socioeconómicos locales.

En términos financieros, se identificaron y cuantificaron los costos asociados con la ejecución del proyecto, abarcando los gastos de construcción, mantenimiento y operación. Además, se realizó una estimación detallada de la cantidad de movimientos de tierras requeridos para las obras de mejoramiento, así como la extensión del terreno afectado y las implicaciones prediales correspondientes. Este enfoque integral garantiza una planificación y ejecución del proyecto que considera todos los aspectos relevantes.

Como resultado de esta evaluación exhaustiva, se generaron tres alternativas para el mejoramiento del diseño vial. Posteriormente, se llevó a cabo una matriz de decisión, que permitió determinar de manera objetiva cuál de estas alternativas resultaba ser la óptima para satisfacer las necesidades de mejoramiento vial identificadas durante la fase inicial del estudio del proyecto.

## **7.2 Etapa 2**

### ***7.2.1 Topografía***

Para llevar a cabo la topografía del terreno, se decidió emplear una combinación de tecnologías, específicamente un RTK en conjunto con fotogrametría. Esta estrategia permitió obtener un detallado completo del relieve y las características geográficas del área en cuestión. Se utilizó un dron en conjunto con dos dispositivos receptores GNSS, los

cuales fueron empleados para trazar líneas perpendiculares al sentido de la vía, abarcando el eje, los bordes y los linderos. Esta secuencia se llevó a cabo cada 20 o 40 metros, dependiendo de la homogeneidad del tramo, mientras que, en curvas, se realizó cada 10 metros. Para la calibración de los puntos entre los dos dispositivos, se emplearon ubicaciones de referencia mediante telas.

***Figura 16***

*Ubicación de telas*



*Nota.* Ubicación de tela, RTK en conjunto con fotogrametría. Fuente. Propia.

Los datos capturados mediante fotogrametría fueron procesados utilizando Pix4D, donde se generaron las curvas de nivel y una ortofoto. Simultáneamente, los puntos obtenidos por los receptores fueron importados y fusionados con Civil 3D.

Con la información procesada, se procedió a integrar ambos sistemas para crear la topografía del terreno. Los datos del RTK se incorporaron a las curvas de nivel generadas en Pix4DMapper, estableciendo breaklines. se conformó la representación topográfica que sigue el trazado actual de la vía utilizando la metodología RTK, mientras que los alrededores, aproximadamente 40 a 50 metros desde los bordes, se basan en las capturas realizadas con el dron (modelo DEM).

### ***7.2.2 Diseño geométrico***

El trazado de una vía es de vital importancia ya que debe garantizar a seguridad de los usuarios, tanto vehículos como peatones. Dicho trazado debe ser adecuado para a velocidad de circulación prevista, que, para el trazado realizado, teniendo en cuenta el sector, la funcionalidad y la ruralidad de la zona, es de 40 Km/h. Además, debe permitir la circulación fluida del tráfico. En el trazado de una vía, es de vital importancia identificar elementos geométricos, como los radios de curva, el ancho de calzada, longitud de las pendientes, peralte, berma, cuneta y la señalización. En la siguiente tabla se muestran los radios de las curvas del trazado, junto con todos los elementos geométricos de a vía y respectivas abscisas de PC, PT, y PI.

#### **7.2.2.1 Diseño de peraltes.**

En el diseño de los peraltes para la alternativa seleccionada, se establece un límite máximo de peralte del 6%, según las especificaciones de la normativa del INVIAS para vías terciarias, por la ausencia de amplias tangentes entre curvas.

Además, se requiere la aplicación de coeficientes de fricción y radios mínimos de acuerdo con el peralte máximo estipulado, utilizando los valores indicados en la tabla adjunta, para una velocidad de 40 km/h.

Una vez recopilados los datos, se procede al cálculo de la transición de peralte. Esta transición comienza en el punto donde el borde exterior del pavimento empieza a elevarse desde el bombeo normal del 2% hasta alcanzar el peralte total de la curva. Para luego hallar la transición de peralte se compone de una distancia "N", conocida como aplanamiento, y una distancia "L", que es necesaria para realizar la transición desde este punto hasta alcanzar el peralte total en la curva circular.

#### **7.2.2.2 Diseño en planta.**

Una vez definida la topografía del terreno, se procede a crear una polilínea que una todos los puntos otorgados por la topografía de los puntos existentes donde actualmente pasa la vía. Con el alineamiento definido, se inicia el diseño geométrico en planta, mejorando las curvas existentes. Nuestro diseño incluye tres tipos de curvas: curvas circulares, curvas Espiral-Círculo-Espiral y curvas Espiral-Espiral. Este diseño en planta se realiza con el software AutoCAD Civil 3D, el cual verifica el cumplimiento de las normas INVIAS respecto a radios y tangencias mínimos para cada tipo de curva. Además, se calculó el peralte para cada tipo de curva, considerando que el 6% es el peralte máximo para una vía terciaria según el

manual de diseño geométrico de INVIAS. En algunos casos, el peralte se implementó dentro de la curva debido a la falta de entre tangencias que permitan la transición gradual hasta el peralte máximo.

### **7.2.2.3 Diseño en perfil.**

Con el diseño geométrico en planta y el cálculo de los peraltes completados, se procede al diseño en perfil de la vía, utilizando la topografía proporcionada. En este diseño, se define la rasante de la vía, lo cual permite calcular las cantidades de corte y relleno necesarias para el proyecto, así como la cantidad de cada tipo de material a utilizar. Una vez realizado este cálculo, se generan las secciones transversales de la vía, distribuidas cada 20 metros a lo largo de todo el alineamiento.

### **7.2.3 Hidráulica**

Como primer paso se deben obtener los datos de lluvia de la página del IDEAM los cuales se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 12***Precipitación mensual total proporcionado por el IDEAM.*

<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>
<b>2020</b>	93	106	144	97	119	76	63
<b>2021</b>	120	123	213	114	229	124	55
<b>2022</b>	226	177	257	133	116	100	120
<b>2023</b>	247	152	355	174	174	3	70
	142	145	252	135	160	76	79
<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Anual</b>	<b>Máxima</b>	
<b>120</b>	9	16	42	56	941	144	
<b>61</b>	48	122	261	148	1048	261	
<b>27</b>	49	448	215	154	1868	448	
<b>61</b>	31	172	153	90	1095	355	
<b>69</b>	35	195	173	102	1238	302	

*Nota.* Precipitación mensual, datos de la lluvia considerando el año y los diferentes meses de cada año. Fuente. IDEAM.

Ahora, procedemos a identificar los valores máximos para cada año, que se encuentran representados en la columna "Máximos", y luego se promedian. Este promedio resultante representa la precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual.

El periodo de retorno para las cunetas, según el manual, es de 5 años. Aunque no se disponga de datos precisos sobre la duración de la lluvia, se sugiere un tiempo de 20 minutos, basado en la observación de la duración de la lluvia en áreas cercanas a la vía. Los parámetros de ajuste de regresión se encuentran detallados en la Tabla 12, y en este

contexto, la ubicación de la vía corresponde a la región andina (R1). Con estos datos, junto con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual, podemos calcular la intensidad de la lluvia mediante la ecuación de intensidad.

Considerando un coeficiente de escorrentía de 0,9 para el pavimento y de 0,8 para el talud, y teniendo en cuenta las características del suelo (tipo limo arcilloso, impermeable) y la pendiente de talud del 61%, según las tablas de Coeficiente de escorrentía, podemos avanzar en el diseño.

Para las áreas aferentes, se diseñó teniendo en cuenta el escenario más crítico, dividiéndolo en dos: uno para terraplén y otro para corte. El área aferente se determina multiplicando el ancho estimado del flujo hacia la cuneta por la longitud de la cuneta a diseñar.

Con estos datos, podemos calcular el caudal que fluirá por las cunetas mediante la ecuación de caudal de Diseño. Posteriormente, para determinar la distancia máxima en la cual las cunetas pueden transportar el caudal antes de desbordarse, es necesario pre-dimensionarlas para obtener el radio hidráulico y el área mojada.

Una vez pre-dimensionadas las cunetas, aplicamos la Ecuación 3, teniendo en cuenta que la pendiente de la vía será la más crítica para todos los tramos, y que el coeficiente de rugosidad de Manning será el del concreto.

Para verificar si la estructura puede soportar la escorrentía y la lluvia, calculamos el caudal mediante la ecuación de Longitud máxima entre cunetas. La ecuación de Manning

debe producir un caudal mayor que el caudal de diseño para garantizar la capacidad de transporte del caudal. En caso contrario, se deben ajustar las dimensiones de la cuneta hasta alcanzar un valor mayor. Finalmente, el diámetro de las alcantarillas se determina mediante la ecuación de diámetro de alcantarilla.

### **7.2.3.1 Refuerzo estructural para cunetas.**

El refuerzo estructural de cunetas es una práctica fundamental en la ingeniería civil y la gestión de infraestructuras viales. Las cunetas desempeñan un papel crucial en la canalización y evacuación del agua de lluvia, previniendo la erosión de los bordes de las carreteras y mejorando la durabilidad de las vías. Este marco teórico aborda los conceptos y técnicas relacionadas con el refuerzo de cunetas, destacando su importancia y los métodos empleados para su implementación.

Las cunetas son canales laterales que permiten el drenaje adecuado del agua de la superficie de las carreteras. Sin un sistema de drenaje eficiente, el agua puede acumularse y penetrar en la estructura de la carretera, provocando daños significativos. El refuerzo estructural de las cunetas es esencial para prevenir la erosión, mejorar la durabilidad de las carreteras y seguridad vial.

Para el refuerzo estructural no se encontraron manuales que mostraran guías o cálculos para ello. Se investigaron estructuras similares para saber la ubicación del refuerzo y utilizar el acero mínimo requerido.

### 7.3 Etapa 3

#### 7.3.1 Geotecnia

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de diversos tipos de taludes con el objetivo de determinar el diseño óptimo. De acuerdo con las directrices establecidas en el manual de estabilización de taludes del INVÍAS, se requiere un factor de seguridad de 1.5 en presencia de nivel freático. Para la modelación del talud, considerando la zona sísmica especificada por la normativa NSR-10, se estableció un factor de seguridad mínimo de 1.05.

#### **Tabla 13**

*Zona sísmica NORMA NSR-10*

Popayán	0.25	0.20	Alta
---------	------	------	------

*Nota.* Zona sísmica Popayán. Fuente. Norma NSR-10.

Para el cálculo de este proyecto se utilizó el método Morgenstern-Price que, por medio de la teoría del equilibrio, se considera los parámetros de diseño.

**Tabla 14**

*Parámetros de diseño para la estabilización de taludes.*

<b>PARAMETROS DE DISEÑO</b>	
Cohesión	12.4 Kpa
Peso Unitario	21.6 KN/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción	30°
Tipo de esfuerzo	Mohr-Coulomb

*Nota.* Se calcula la estabilización de taludes con estos parámetros de diseño. Fuente.

Propia.

Para calcular la geotecnia de una vía terciaria, comenzamos importando los datos geométricos del talud desde AutoCAD, donde previamente se realizó una modelación considerando una pendiente predeterminada. Este esquema geométrico incluye información detallada como la altura, la inclinación, la geometría de las capas del suelo y el nivel freático.

Una vez cargado el archivo, determinamos las propiedades del suelo in situ, tales como la cohesión, el ángulo de fricción y la densidad. A continuación, se aplican las cargas relevantes del suelo, que incluyen su peso propio, la presión del agua y las cargas sísmicas.

Para el análisis de estabilidad del talud, se selecciona el método de Morgenstern-Price. Se predeterminan las opciones que ofrece el programa respecto a este método y se

modela el talud utilizando el software correspondiente. Este software realiza un análisis exhaustivo de la estabilidad del talud basándose en el método mencionado.

Finalmente, los resultados obtenidos del software permiten evaluar la estabilidad del talud según el factor de seguridad, considerando diferentes condiciones del terreno, tales como condición normal, presencia de agua y combinación de sismo-agua.

Para modelar el talud, se consideró la presencia de un suelo homogéneo de tipo limo. Dado que no se contaba con un estudio de suelo específico para la zona, se decidió emplear datos de estudios con propiedades similares a las del suelo limoso para la modelación en SLIDE 2.

Tras completar la modelación en SLIDE, se determinó una pendiente de 1:2 para el talud, ya que esta relación proporciona el factor de seguridad requerido. Esta elección se fundamentó en las características del terreno, el cual es mayormente plano con mínimos desniveles en sus laderas.

Para el terraplén, se optó por utilizar roca muerta como material de relleno, considerando las condiciones del terreno y su uso previsto.

### ***7.3.2 Pavimento***

Para el diseño del pavimento, fue esencial obtener información sobre el flujo vehicular que circulará por la futura vía. Dado que aún no se disponía de un estudio propio, se utilizó un estudio de tráfico realizado en una vía con características similares que fue el tramo Vial los Andes- Boquerón entre los municipios de Corinto y Toribio. Inicialmente,

se intentó aplicar la metodología AASHTO para el diseño. Sin embargo, la falta de información sobre las propiedades granulométricas del suelo de subrasante, debido a la ausencia de un estudio específico, llevó a descartar esta opción. No obstante, mediante los ejes equivalentes obtenidos con esta metodología y las especificaciones generales de construcción de carreteras del año 2022, se pudo determinar el nivel de tránsito, clasificándolo como NT2.

Con esta información, se tomó la decisión de emplear el software IMT-PAVE, ya que este requiere únicamente la composición vehicular, la cual ya poseíamos, para llevar a cabo el diseño de la estructura del pavimento, considerando sus componentes y módulos resilientes correspondientes. En dicho software, se ingresan los datos de tráfico y se definen los espectros de carga, siendo la elección de alta sobrecarga la más adecuada para las condiciones colombianas.

Continuando con el análisis y basándonos en los artículos 320 y 330, así como en el conocimiento del nivel de tráfico, se concluyó que la subbase y la base de nuestro pavimento deberían ser ambas de clase B. El artículo 320 especifica las condiciones para la subbase granular, incluyendo los requisitos de materiales, procesos de construcción y control de calidad. El artículo 330 define las especificaciones para la base granular, detallando los materiales permitidos, procedimientos constructivos y métodos de control.

Tras obtener esta información, se procedió a investigar los tipos de materiales comúnmente utilizados para las subbases y bases según las especificaciones del INVIAS.

Dado que el software cuenta con una calculadora para el módulo resiliente y requeríamos conocer el tipo de suelo, se definieron la subbase granular como un suelo franco-arenoso (SW-SM) y la base granular como una grava bien graduada (GW). Con esta clasificación, se calcularon los módulos resilientes para determinar los espesores necesarios para que la estructura del pavimento cumpla con las exigencias de fatiga y de deformación en su vida útil.

Como resultado de estos cálculos, se estableció un espesor de 8 cm para la carpeta asfáltica, 20 cm para la base granular, y 30 cm para la subbase granular, asegurando así un desempeño óptimo del pavimento sin problemas significativos de fatiga ni deformación.

Es importante destacar que, considerando la presencia del nivel freático en el suelo, se contempla la posibilidad de incorporar una capa granular impermeable. La investigación en curso busca determinar los parámetros y características específicas de esta capa. La intención es incluir esta capa en el diseño final, lo que requeriría una reestructuración completa de la configuración actual. Este ajuste se realizará cuando la capa impermeable se integre al diseño del pavimento para garantizar la estabilidad de la estructura en su totalidad.

### ***7.3.3 Predial***

Para la elaboración de la ficha predial, se considerarán todos los predios que influyen significativamente en la vía. Los predios cuya totalidad del área sea parte de la vía

se adquirirán completamente, mientras que aquellos con áreas parcialmente involucradas se adquirirán parcialmente.

Para determinar el área total de los predios a adquirir, nos basamos en la topografía previamente realizada y utilizamos Google Maps para el registro fotográfico. Posteriormente, se construyó el formato de ficha predial proporcionado por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), el cual requiere datos básicos del proyecto, así como la cantidad de predios a adquirir, sus respectivas áreas y el registro fotográfico de los mismos.

#### ***7.3.4 Presupuesto***

Habiendo definido todos los elementos necesarios para la construcción de nuestra vía, se llevó a cabo el cálculo de todas las cantidades requeridas utilizando programas como AutoCAD y Topo3. Además, se emplearon los análisis de precios unitarios proporcionados por la gobernación del Cauca para obtener los costos totales del proyecto.

Estos costos se han categorizado en cinco grandes aspectos: preliminares, explanaciones, vías, alcantarillados, y señalización y seguridad vial. Este desglose permite una evaluación detallada de los costos asociados con cada componente esencial de la construcción de la vía, facilitando así una gestión precisa y eficiente del presupuesto del proyecto.

Adicionalmente, se determinaron los costos por administración, costos e imprevistos para tenerlos en cuenta al calcular el costo total de este proyecto. Con todo

esto en consideración, se ha definido el AIU (Administración, Imprevistos y Utilidades) y los costos directos, obteniendo así la cantidad total del proyecto.

### ***7.3.5 Programación***

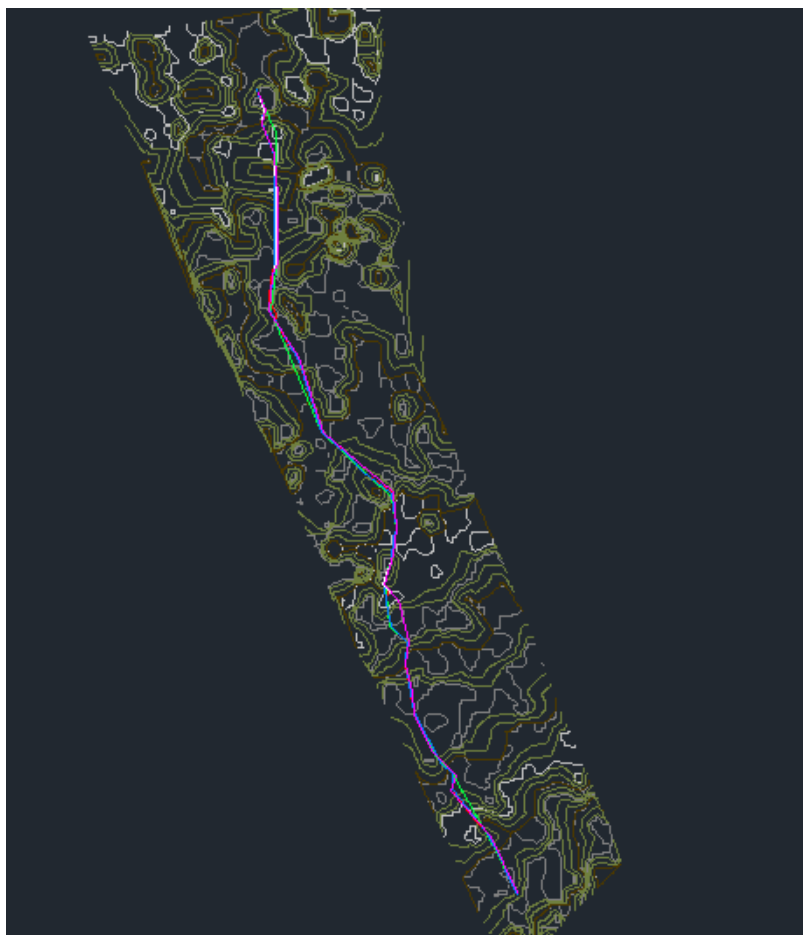
Con el objetivo de planificar de manera integral un proyecto, se requiere la elaboración de un cronograma que contemple todas las actividades a ejecutar, el tiempo estimado para cada una de ellas, así como posibles imprevistos que puedan surgir. Esta medida se toma para evitar la generación de sobrecostos u otros inconvenientes al concluir la obra. El cronograma incluirá detalladamente las etapas de preliminares, explanación, construcción de la vía, instalación de alcantarillado y señalización, y medidas de seguridad vial.

## 8. Resultados

### 8.1 Prefactibilidad

*Figura 17*

*Vista en planta de la vía Original y alternativas.*



*Nota.* Ilustración de la vía original con las tres alternativas estudiadas en prefactibilidad. Fuente. Propia.

**Tabla 15***Resultado de estudio de alternativa 1.*

<b>Alternativa 1 (Fucsia)</b>		
Distancia	4000	m
Aprovechamiento	3011,8	m
# Curvas	14	
Casas	9	
Predios	988,2	ML
Velocidad diseño	40	km/h
Movimiento de tierras	5192,67	m <sup>3</sup>
Presupuesto preliminar	\$3.713.069.400,94	pesos
No es necesario obras estructurales		

*Nota.* Resultados del estudio de la alternativa 1 en prefactibilidad. Fuente. Propia.

**Tabla 16***Resultado de estudio de alternativa 1.*

<b>Alternativa 2 (Verde)</b>		
Distancia	4004	m
Aprovechamiento	2467	m
# Curvas	17	
Casas	4	
Predios	1537	ML
Velocidad diseño	40	km/h
Movimiento de tierras	73953,64	m <sup>3</sup>
Presupuesto preliminar	\$10.738.277.636,53	pesos
No es necesario obras estructurales		

*Nota.* Resultados del estudio de la alternativa 2 en prefactibilidad. Fuente. Propia.

**Tabla 17***Resultado de estudio de alternativa 1.*

<b>Alternativa 3 (Azul)</b>		
Distancia	3994	m
Aprovechamiento	3937	m
# curvas	20	
Casas	4	
Predios	57	ML
Velocidad diseño	40	km/h
Movimiento de tierras	15802,22	m <sup>3</sup>
Presupuesto preliminar	\$4.803.971.923,20	pesos
No es necesario obras estructurales		

*Nota.* Resultados del estudio de la alternativa 3 en prefactibilidad. Fuente. Propia.

**Tabla 18***Matriz de decisión prefactibilidad*

Peso	Área	Ítem	Peso Ítem	ALTERNATIVAS		
				I	II	III
45%	Diseño geométrico	Aprovechamiento de vía existente	50%	5	4	5
		Número de curvas	20%	5	3	1
		Movimiento de tierras	10%	5	1	3
		Longitud de la vía	20%	5	5	5
		<b>Total</b>		<b>5</b>	<b>3,7</b>	<b>4</b>
35%	Predial	Pedios externos	60%	3	3	5
		Urbanización afectada	40%	3	5	5
		<b>Total</b>		<b>3</b>	<b>3,8</b>	<b>5</b>
20%	Infraestructura vial	Infraestructura externa a la vía	20%	5	5	5
		Presupuesto	80%	5	1	3
		<b>Total</b>		<b>5</b>	<b>1,8</b>	<b>3,4</b>
		<b>Total, final</b>		<b>4,3</b>	<b>3,4</b>	<b>4,2</b>

*Nota.* Procedimiento de análisis de datos mediante matriz de decisión. Fuente. Propia

## 8.2 Topografía

*Figura 18*

*Modelo de la vía con ubicación geográfica de las telas con RTK*



*Nota.* Resultados de levantamiento topográfico con el software Pix4DMapper.

Fuente. Propia.

**Tabla 19***Ubicación de las telas.*

Punto	Este	norte	Cota	nombre
5	833956311	1081682974	1088992	Tn/tela
28	834184641	108157466	1083948	tela2
77	83447677	108139394	1077797	tela
117	834655426	108128064	1072738	tela1
148	834842937	1081197602	1067658	tela3
171	835085512	1081166756	1062897	tela4
190	835249848	1081089977	1058854	tela5
223	835454712	1081118763	1055959	tela6
252	835636552	1081134381	1052853	tela7
271	835753253	1081085868	1051462	tela8
292	835894401	1080933269	1047791	tela9
315	836415176	1080648171	1042185	tela10
338	836605181	1080574189	1042948	tela11
359	836812145	1080601016	1040583	tela12
419	836024390	1080800918	1046198	TELA
453	836248697	1080732022	1044860	TELA
533	837456308	1080529446	1039635	TELA

*Nota.* Ubicación de los puntos, especificando el punto cardinal y la cota. Fuente.

Propia.

**Figura 19**

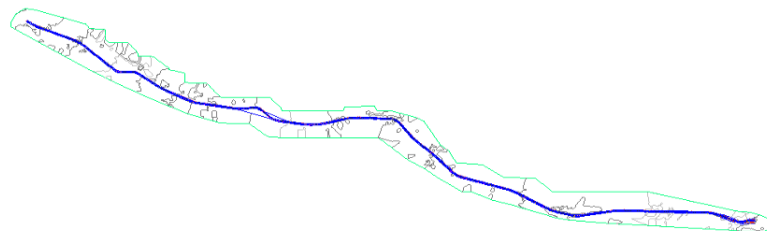
*Imagen aérea de la vía terciaria Caloto Cauca.*



*Nota.* Imágenes dadas por fotogrametría- RTK. Fuente. Propia.

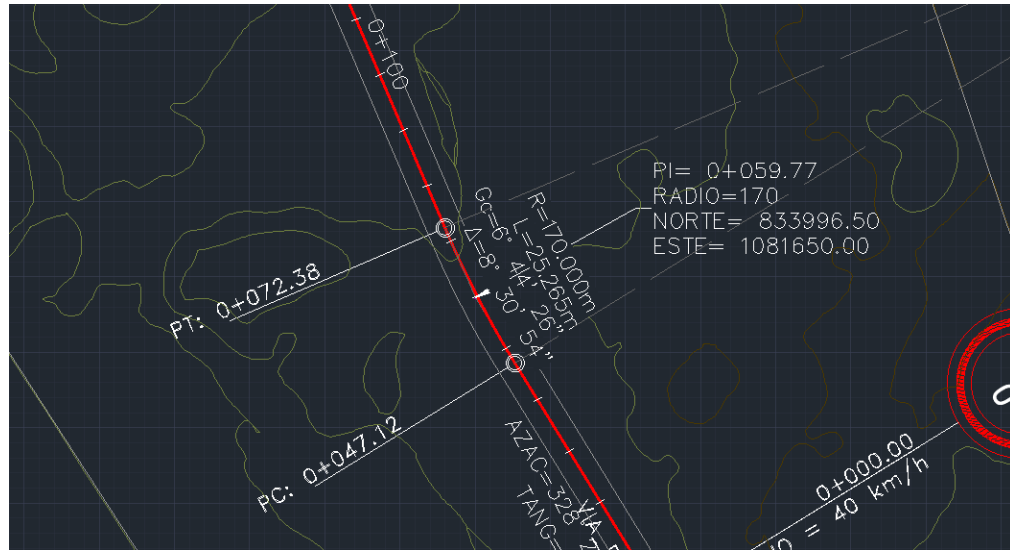
**Figura 20**

*Curvas de nivel y carreteable de la vía*



*Nota.* Modelo digital del terreno, generando las curvas de nivel y el diseño del carreteable. Fuente. Propia.



**Figura 22***Diseño curva circular*

*Nota.* Ilustración de la curva circular en el tramo vial. Fuente. Propia.

**Figura 23***Diseño curva espiral – circulo- espiral*

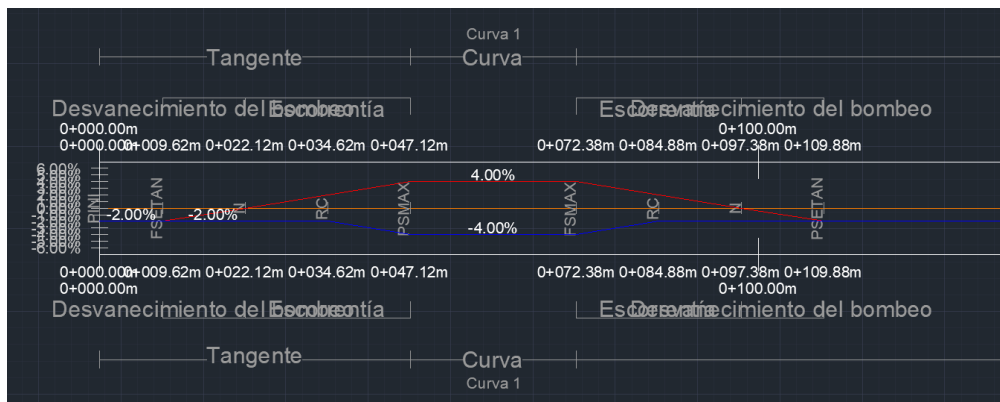
*Nota.* Ilustración de la curva espiral circular espiral en el tramo vial. Fuente. Propia.

**Figura 24***Diseño curva espiral – espiral*

*Nota.* Ilustración de la curva espiral-espiral en el tramo vial. Fuente. Propia.

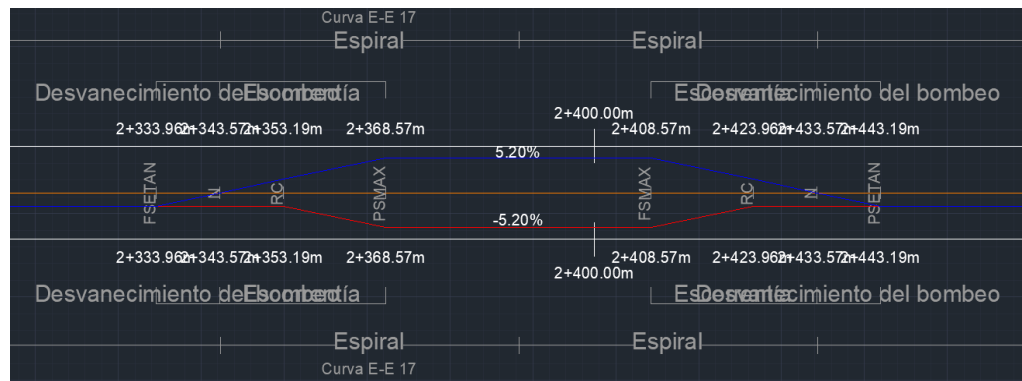
**Figura 25**

*Diseño peralte de la curva circular*



*Nota.* Ilustración del peralte de la curva circular en el tramo vial. Fuente. Propia.



**Figura 27****Diseño Peralte Espiral-Espiral**

*Nota.* Ilustración del peralte de la curva espiral espiral en el tramo vial. Fuente. Propia.

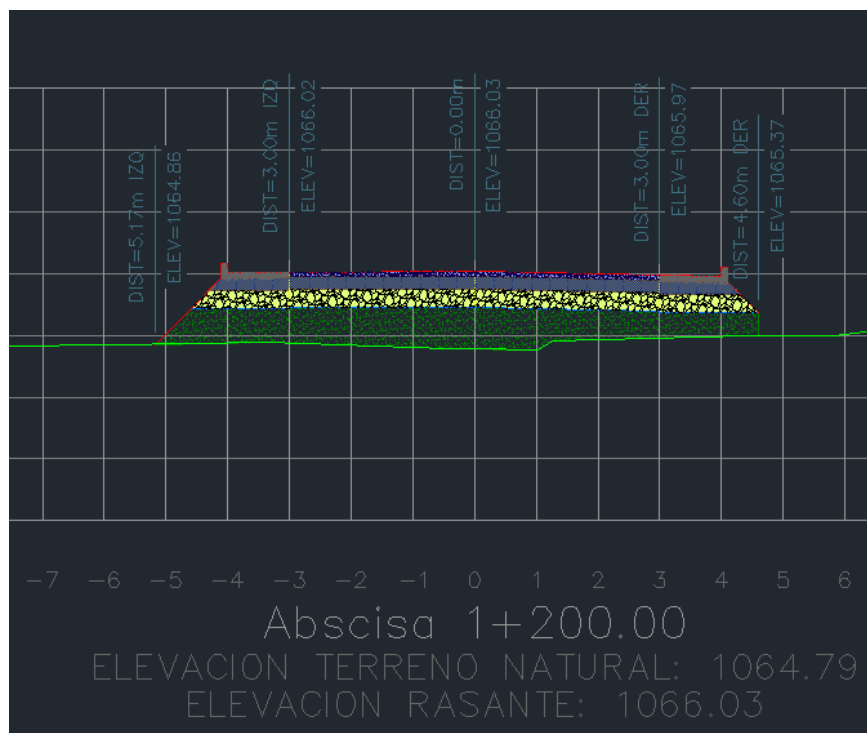
**Figura 28**

*Diseño perfil Abd K1+800 hasta K2+800*



*Nota.* Ilustración del diseño perfil Abd K1+800 hasta K2+800 en el tramo vial.

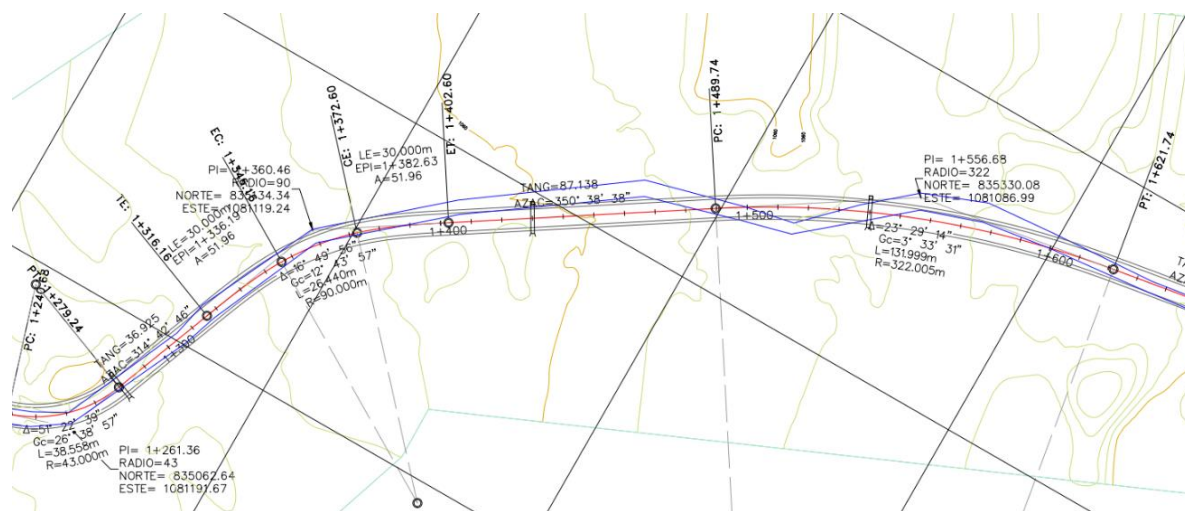
Fuente. Propia.

**Figura 29***Diseño Sección Abs K1+200*

*Nota.* Ilustración del diseño *sección Abs K1+200* en el tramo vial. Fuente. Propia.

**Figura 30**

*Diseño geométrico de la vial actual y mejoramiento de la curva*



*Nota.* Ilustración del diseño de la vía actual e ilustración de nuestra propuesta final de diseño que mejora las curvas de la vía. Fuente. Propia.

## 8.4 Hidráulica

*Tabla 20*

*Caudal de diseño para terraplén.*

<b>Coefficiente de escorrentía</b>	<b>0,9</b>
Longitud de cuneta (m)	300
Ancho de carril (m)	3
Área aferente (m <sup>2</sup> )	900
Intensidad (mm/hora)	1193,49
Caudal de diseño (L/s)	26,85

*Nota.* Resultados obtenidos con el cálculo de caudal de diseño para terraplén, se analizó para los casos más críticos. Fuente. Propia.

**Tabla 21***Longitud máxima y caudal de Manning*

<b>n</b>	<b>0,014</b>
Base (m)	0,9
Altura (m)	0,2
Área cuneta (m <sup>2</sup> )	0,09
Radio hidráulico (m)	0,046
Wimpluvium (m)	3
So (m/m)	0,0323
Lmáx (m)	172
Qw (L/s)	147,28

*Nota.* Resultados de la longitud máxima y caudal de Manning para terraplén.

Fuente. Propia.

**Tabla 22***Caudal de diseño para corte*

<b>Coefficiente de escorrentía</b>	<b>0,785</b>
Longitud de cuneta (m)	200
Ancho de carril (m)	3
Ancho de talud (m)	20
Área aferente de ladera (m)	171
Área aferente (m2)	4771
Intensidad (mm/hora)	1193,49243
Caudal de diseño (L/s)	124,164157

*Nota.* Resultados de caudal de diseño para cuneta en corte. Fuente. Propia.

**Tabla 23**

*Longitud máxima y caudal de Manning para corte.*

<b>n</b>	<b>0,014</b>
Base (m)	0,9
Altura (m)	0,2
Área cuneta (m <sup>2</sup> )	0,09
Radio hidráulico (m)	0,04551209
Wimpluvium (m)	20
So (m/m)	0,026
Lmáx (m)	172,402106
Qw (L/s)	132,135348

*Nota.* Resultados caudal de Manning y la longitud máxima para corte. Fuente.

Propia.

La evaluación del caudal de Manning revela que excede el caudal de diseño en ambos escenarios, brindándonos la tranquilidad de que la cuneta no se desbordará.

El cálculo del diámetro de las alcantarillas arrojó un resultado de 0,28 metros, sin embargo, conforme a la normativa, se establece en 0,9 metros, que es el mínimo permitido.

**Tabla 24***Ubicación de cámaras de recolección para corte*

<b>Corte</b>		
<b>Ubicación de cámaras de recolección</b>		
<b>Tramo</b>	<b>Alcantarilla</b>	<b>Abscisa</b>
<b>k0+00 - k0+300</b>	1	k0+150
	2	k0+300
<b>k0+490 - k0+940</b>	3	k0+640
	4	k0+790
	5	k0+940
<b>k1+110 - k1+550</b>	6	k1+280
	7	k1+430
	8	k1+540
<b>k1+950 - k2+170</b>	9	k2+060
	10	k2+170
<b>k2+710 - k3+090</b>	11	k2+830
	12	k2+950
	13	k2+390
<b>k3+480 - k3+600</b>	14	k3+600
<b>k3+690 - k3+900</b>	15	k3+750

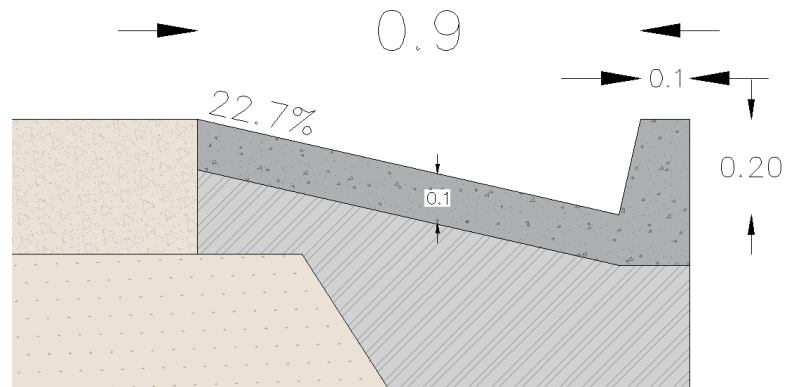
*Nota.* Especificación del tramo para la ubicación de las cámaras de recolección.

Fuente. Propia.

**Tabla 25***Ubicación de cámaras de recolección para terraplén*

<b>Terraplén</b>		
<b>Ubicación de cámaras de recolección</b>		
<b>Tramo</b>	<b>Alcantarilla</b>	<b>Abscisa</b>
<b>k0+310 - k0+490</b>	16	k0+400
	17	k0+490
<b>k0+940 - k1+110</b>	18	K1+110
<b>k1+550 - k1+950</b>	19	k1+680
	20	k1+810
	21	k1+950
<b>k2+170 - k2+710</b>	22	k2+300
	23	k2+430
	24	k2+560
	25	k2+710
<b>k3+090 - k3+480</b>	26	k3+220
	27	k3+350
	28	k3+480
<b>k3+600 - k3+680</b>	29	k3+680
<b>k3+900 - k4+000</b>	30	k3+900

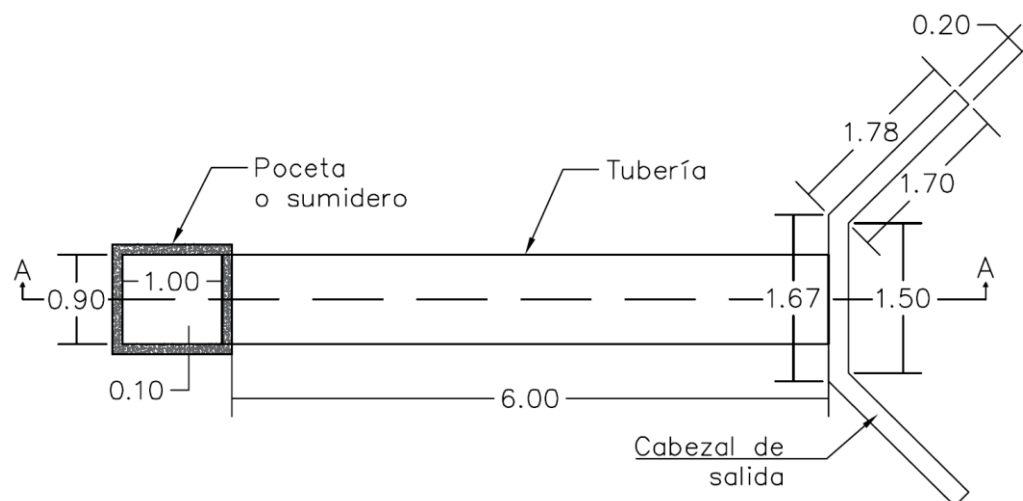
*Nota.* Especificación del tramo para la ubicación de las cámaras de recolección para terraplén Fuente. Propia.

**Figura 31***Sección transversal de cuneta*

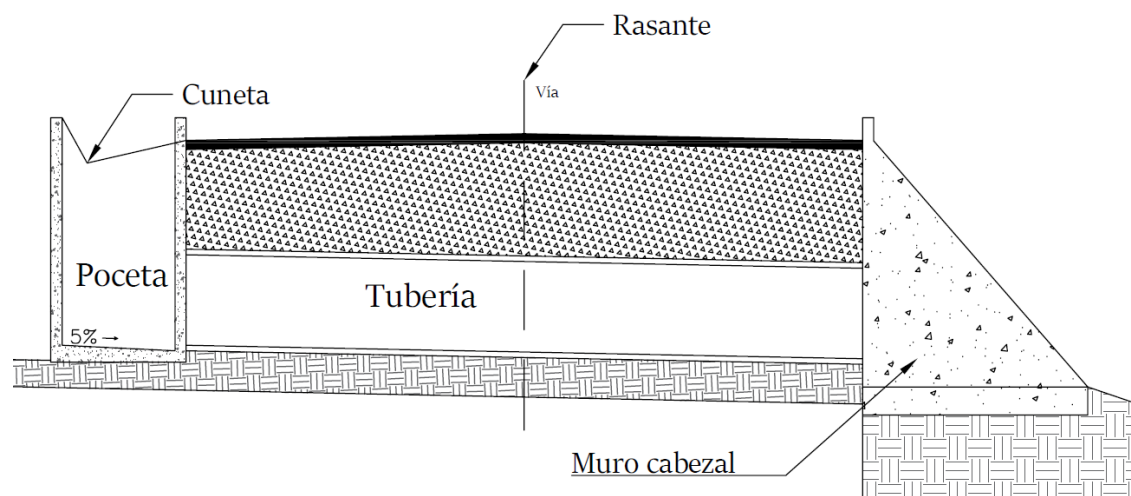
*Nota.* Ilustración de sección transversal de la cuneta. Fuente. Propia.

**Figura 32**

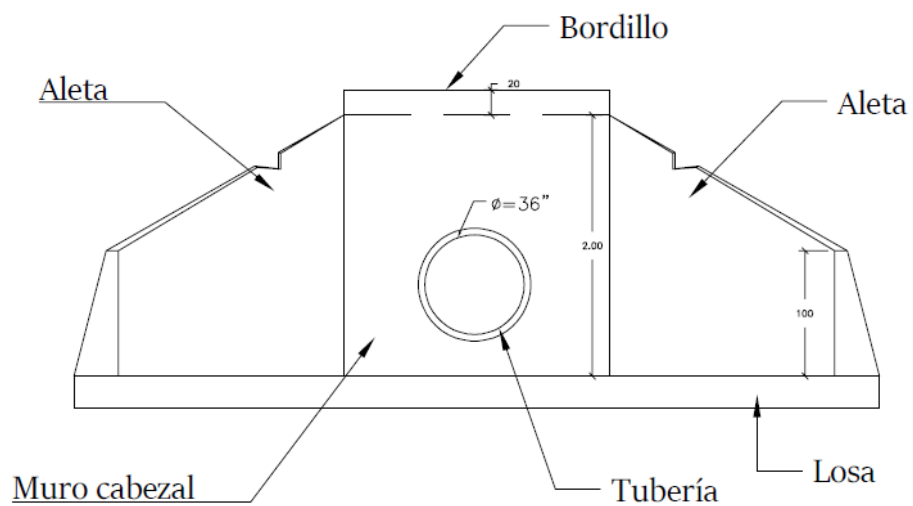
*Vista en planta de la alcantarilla con poceta, tubería y cabezal de salida.*



*Nota.* Ilustración en planta de la alcantarilla con poceta, tubería y cabezal de salida. Fuente. Propia.

**Figura 33***Vista del corte A-A.*

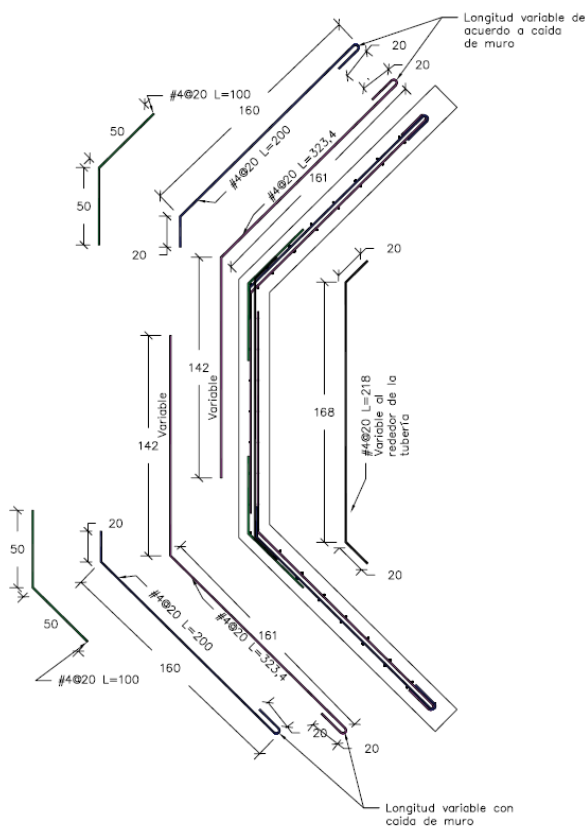
*Nota.* Ilustración en corte de la vía. Fuente. Propia.

**Figura 34***Vista de la salida de la tubería*

*Nota.* Ilustración de la salida de la tubería. Fuente. Propia.

**Figura 35**

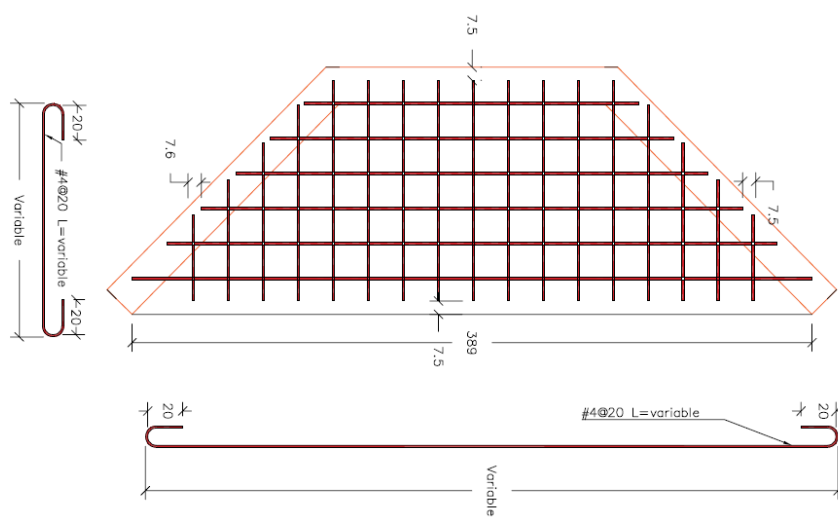
*Vista en planta de despiece de muro cabezal.*



*Nota.* Ilustración del despiece de cunetas, muro cabezal. Fuente. Propia.

**Figura 36**

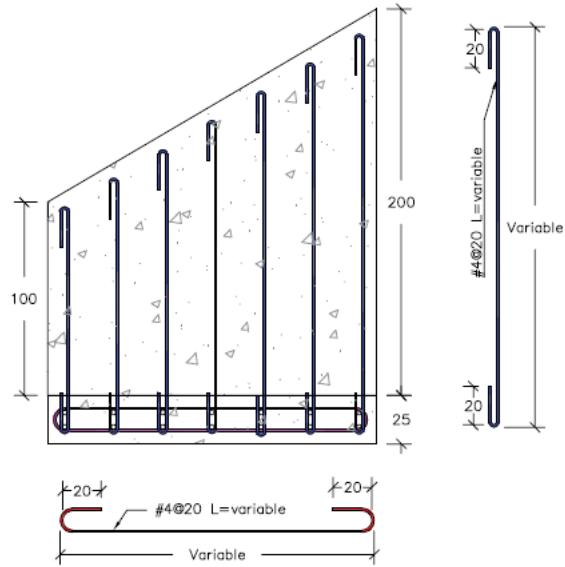
*Vista en planta de despiece de losa de cabezal.*



*Nota.* Ilustración del despiece de cunetas, losa de cabezal. Fuente. Propia.

**Figura 37**

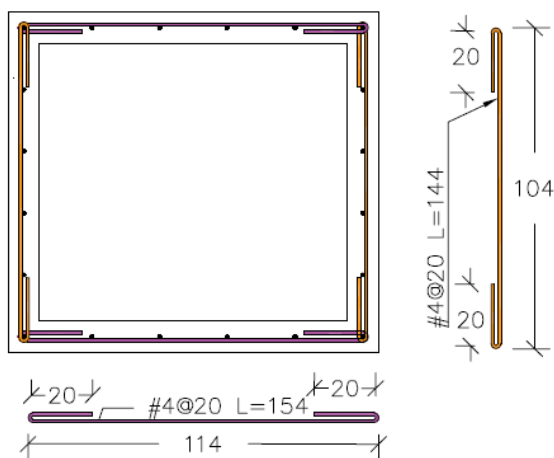
*Vista de la sección transversal de despiece de aletas de muro cabezal.*



*Nota.* Ilustración del despiece de aletas de muro cabezal. Fuente. Propia.

**Figura 38**

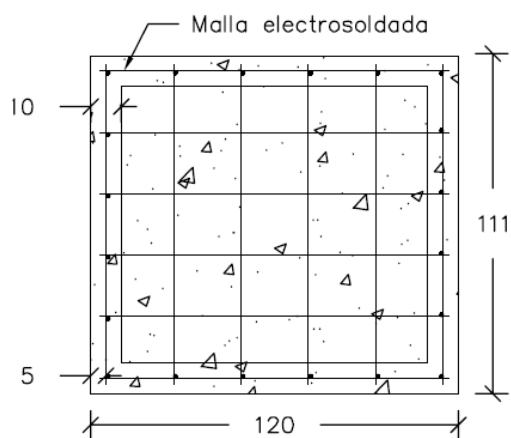
Vista en planta de despiece de muros de poceta.



Nota. Ilustración del despiece de muro poceta. Fuente. Propia.

**Figura 39**

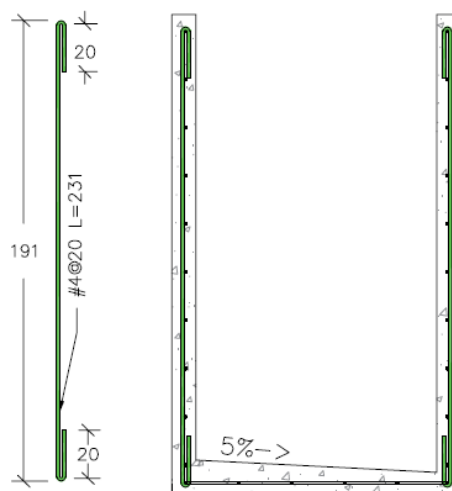
Vista en planta de despiece de fondo de poceta.



Nota. Ilustración del despiece del fondo del muro poceta. Fuente. Propia.

**Figura 40**

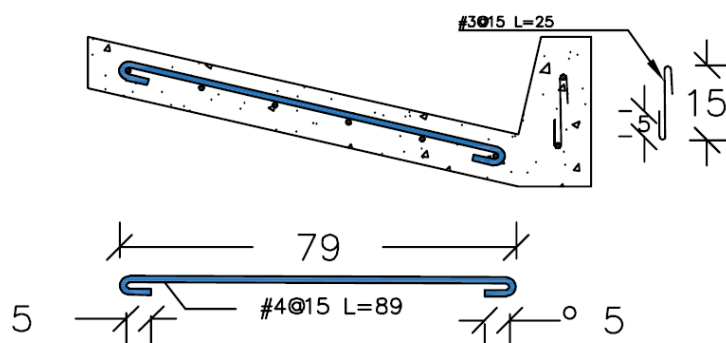
Vista sección transversal de despiece de muros de poceta.



Nota. Ilustración del despiece de muro poceta. Fuente. Propia.

**Figura 41**

Vista sección transversal de despiece de cuneta.

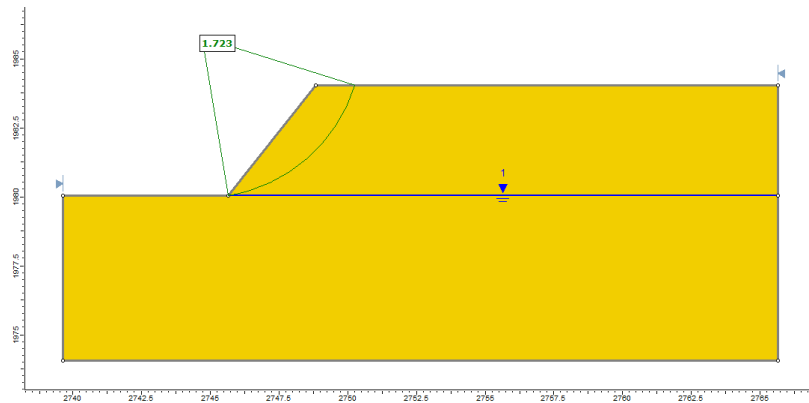


Nota. Ilustración del despiece de cuneta Fuente. Propia.

## 8.5 Estabilización de taludes

**Figura 42**

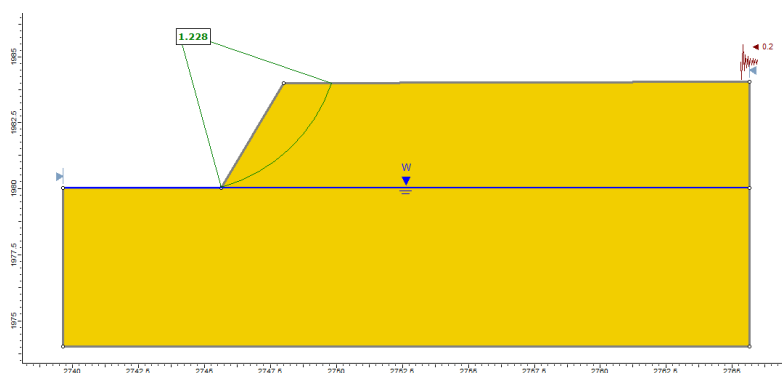
*Modelación en SLIDE Talud.*



*Nota.* Modelación en Slide, geometría del talud, característica del suelo, cargas aplicadas. Fuente. Propia.

**Figura 43**

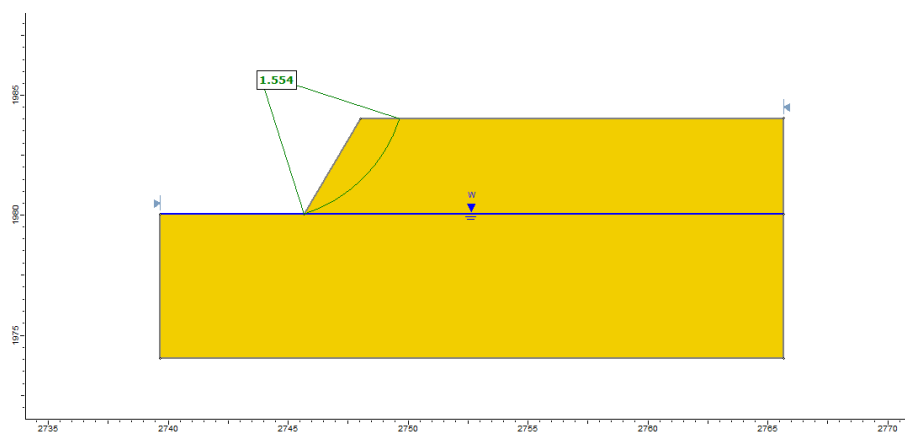
*Modelación en SLIDE considerando sismo y agua.*



*Nota.* Modelación en Slide del talud, considerando sismo y agua. Fuente. Propia.

**Figura 44**

*Modelación en SLIDE agua.*



*Nota.* Modelación en Slide, considerando las condiciones de carga debido a la presencia de agua. Fuente. Propia.

## 8.6 Pavimento

**Tabla 26**

*Niveles de tránsito*

Nivel de tránsito	Número de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño ( $N_{80kN}$ ) (millones)
NT1	$N_{80kN} \leq 0,5$
NT2	$0,5 < N_{80kN} \leq 5,0$
NT3	$N_{80kN} > 5,0$









*Nota.* Nivel de tránsito, número de ejes equivalentes. Fuente. Norma de construcción pavimento asfáltico.

### Figura 45

#### Datos de tránsito

TDPA (veh/día)	130
Presión de inflado:	90
<b>Factor de Distribución por:</b>	
Sentido	0.5
Carril	1
<b>Horizonte de Proyecto:</b>	
Vida (años)	20
Tasa de crecimiento	7 %

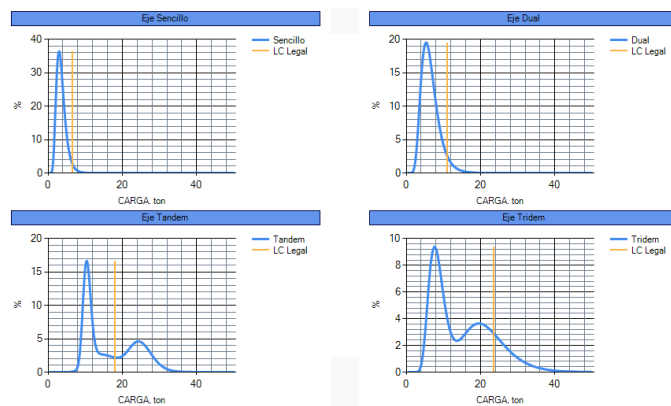
  

Clasificación Vehicular:		
A	52	
B2	3	
B3	0	
C2	34	
C3	11	
T3-S2	0	
T3-S3	0	
T3-S2-R4	0	
Otros	0	
<b>SUMA</b>	<b>100.0</b>	

*Nota.* Clasificación vehicular, factor de distribución y horizonte de proyecto.

Fuente. Propia

**Figura 46**  
*Espectros de Carga*



*Nota.* Espectro de carga. Fuente. Propia

**Tabla 27**

*Uso típico de las diferentes clases subbase granular.*

Clase de subbase granular	Nivel de tránsito
Clase A	NT3
Clase B	NT2
Clase C	NT1

*Nota.* Clase de subbase granular según el nivel de tránsito. Fuente. Norma de construcción pavimento asfáltico.

**Tabla 28**

Uso típico de las diferentes clases de base granular.

Clase de base granular	Nivel de tránsito
Clase A	NT3
Clase B	NT2
Clase C	NT1

*Nota.* Clase de base granular según el nivel de tránsito. Fuente. Norma de construcción pavimento asfáltico.

**Figura 47**

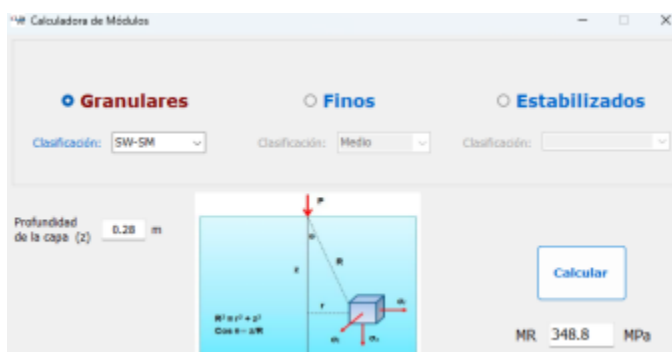
Módulo de la subrasante.



*Nota.* Módulo de subrasante considerando el nivel de tránsito. Fuente. Propia IMT-PAVE.

**Figura 48**

*Módulo de la subbase.*



*Nota.* Módulo de subbase considerando el nivel de tránsito. Fuente. Propia IMT-PAVE.

**Figura 49**

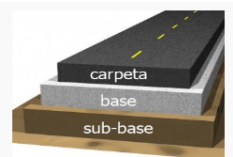
*Módulo de la base.*



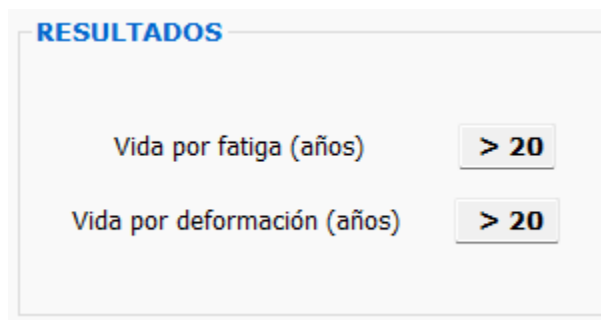
*Nota.* Módulo de base considerando el nivel de tránsito. Fuente. Propia IMT-PAVE.

**Tabla 29***Estructura del pavimento.*

	No. de Capa	Nombre Capa	Espesor (cm)	Módulo (MPa)
▶	1	MDC-19	8	1800
	2	Base granular	20	516.9
	3	Sub Base	30	348.8
	4	Capa semi-infinita		49



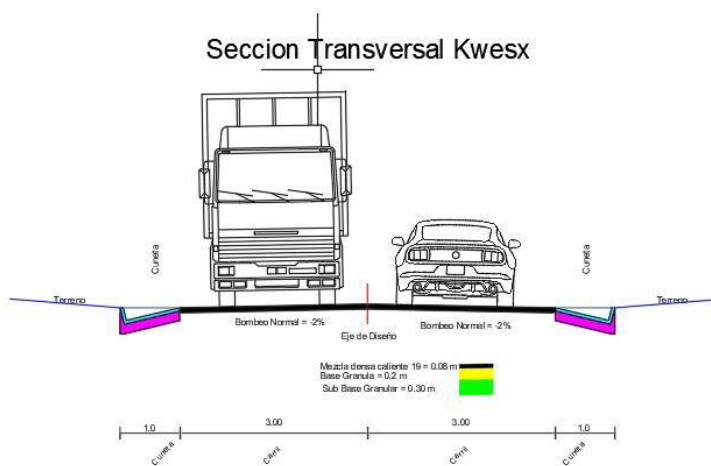
*Nota.* Nombre de la capa, espesor de la capa. Fuente. Propia.

**Figura 50***Resultados de vida*

*Nota.* Vida de la vía. Fuente. Propia.

**Figura 51**

*Ilustración sección transversal del diseño de pavimento.*




*Nota.* Ilustración del resultado diseño del pavimento. Fuente. Propia.

8.7 Predial

Tabla 30

Formato ficha predial

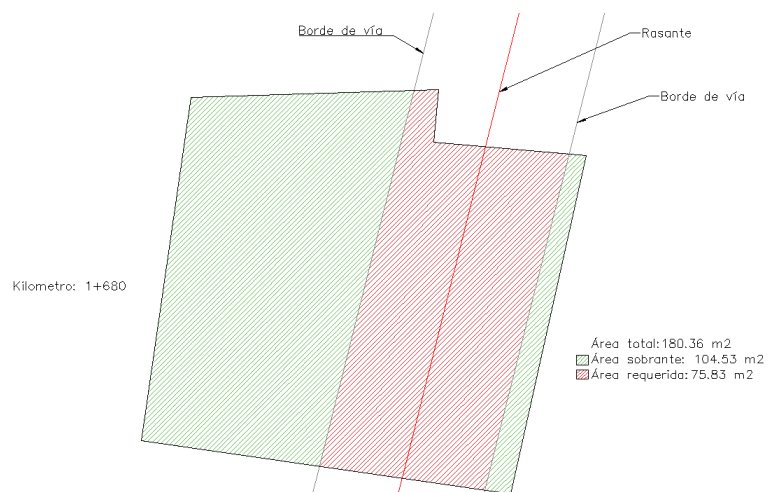
		MINISTERIO DE TRANSPORTE AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA <b>FICHA PREDIAL</b>		PROYECTO DE CONCESION CONTRATO No.: _____ UNIDAD FUNCIONAL: <b>24</b> NUMERO DE PREDIOS: <b>33</b> ARISC INICIAL: K0+000 ARISC FINAL: K3+392		CONCESION VIAL (SERVO) I <b>4</b> SECTOR O TRAMO: LOPEZ ADETRO MARGEN ADECUADO CONTIGUO? <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO																																																																																																						
NOMBRE DE LOS PROPIETARIO(S) DE LOS PREDIOS JAVIER ALEXANDER PEREZ CAICEDO				CEDULA: <b>1000 932 118</b> DIRECCION / EMAIL: <a href="mailto:javier.perez@javerianacali.edu.co">javier.perez@javerianacali.edu.co</a>																																																																																																								
VEREDA/BARRIO: <b>LOPEZ ADETRO</b> MUNICIPIO: <b>CORINTO</b> DPTO: <b>CAUCA</b>		CLASIFICACION DEL SUELO: <b>RURAL</b> ACTIVIDAD ECONOMICA DE LOS PREDIOS: <b>AGRICULTURA</b> TOPOGRAFIA: <b>Mdta</b>		LINDEROS: <b>LONGITUD (m)</b> NORTE: _____ SUR: _____ ORIENTE: _____ OCCIDENTE: _____		Predios requeridos para: <b>REPLANTEO DE LA VIA ACTUAL</b>																																																																																																						
INVENTARIO DE CULTIVOS Y ESPECIES <table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCION</th> <th>CANT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MAIZ</td> <td>INDETER</td> </tr> <tr> <td>FRUCL</td> <td>INDETER</td> </tr> <tr> <td>PAPA</td> <td>INDETER</td> </tr> <tr> <td>SABLA</td> <td>INDETER</td> </tr> </tbody> </table>		DESCRIPCION	CANT	MAIZ	INDETER	FRUCL	INDETER	PAPA	INDETER	SABLA	INDETER	TITUL A: Pavimento flexible B: Muros de contencion C: Obras geotecnicas D: Obras hidraulicas (Alcantarillas)		DESCRIPCION DE LAS CONSTRUCCIONES AREA REQUERIDA DE LOS PREDIOS: <b>1555,9</b> m <sup>2</sup> AREA SOBRAANTE: <b>2821,305</b> m <sup>2</sup> AREA TOTAL REQUERIDA: <b>1556</b> m <sup>2</sup>		CANTIDAD 219,52 m <sup>3</sup> 0 0 30 und																																																																																												
DESCRIPCION	CANT																																																																																																											
MAIZ	INDETER																																																																																																											
FRUCL	INDETER																																																																																																											
PAPA	INDETER																																																																																																											
SABLA	INDETER																																																																																																											
Elaboró: <b>NICOLAS GOMEZ MARTINEZ</b> Revisó y Aprobó: <b>JAVIER ALEXANDER PEREZ CAICEDO</b>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Predio</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> <th>12</th> <th>13</th> <th>14</th> <th>15</th> <th>16</th> <th>17</th> <th>18</th> <th>19</th> <th>20</th> <th>21</th> <th>22</th> <th>23</th> <th>24</th> <th>25</th> <th>26</th> <th>27</th> <th>28</th> <th>29</th> <th>30</th> <th>31</th> <th>32</th> <th>33</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>161.838</td> <td>18.110</td> <td>93.047</td> <td>110.404</td> <td>61.543</td> <td>167.872</td> <td>64.726</td> <td>161.761</td> <td>103.342</td> <td>79.212</td> <td>140.000</td> <td>149.211</td> <td>93.463</td> <td>104.145</td> <td>249.612</td> <td>109.413</td> <td>136.673</td> <td>117.300</td> <td>193.150</td> <td>70.910</td> <td>246.235</td> <td>185.917</td> <td>175.600</td> <td>134.393</td> <td>131.552</td> <td>195.821</td> <td>125.160</td> <td>121.431</td> <td>134.331</td> <td>131.408</td> <td>110.297</td> <td>118.688</td> <td>161.708</td> </tr> <tr> <td></td> <td>29.995</td> <td>9.232</td> <td>27.679</td> <td>43.432</td> <td>36.075</td> <td>42.859</td> <td>24.95</td> <td>3.195</td> <td>86.753</td> <td>33.86</td> <td>23.073</td> <td>4.608</td> <td>45.263</td> <td>42.471</td> <td>61</td> <td>60</td> <td>12.367</td> <td>42.748</td> <td>48.7</td> <td>70.010</td> <td>154.284</td> <td>119.454</td> <td>14.7</td> <td>22</td> <td>74.114</td> <td>126</td> <td>62.3</td> <td>33.6</td> <td>73.622</td> <td>50</td> <td>48.905</td> <td>25.641</td> </tr> </tbody> </table>						Predio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33		161.838	18.110	93.047	110.404	61.543	167.872	64.726	161.761	103.342	79.212	140.000	149.211	93.463	104.145	249.612	109.413	136.673	117.300	193.150	70.910	246.235	185.917	175.600	134.393	131.552	195.821	125.160	121.431	134.331	131.408	110.297	118.688	161.708		29.995	9.232	27.679	43.432	36.075	42.859	24.95	3.195	86.753	33.86	23.073	4.608	45.263	42.471	61	60	12.367	42.748	48.7	70.010	154.284	119.454	14.7	22	74.114	126	62.3	33.6	73.622	50	48.905	25.641
Predio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33																																																																											
	161.838	18.110	93.047	110.404	61.543	167.872	64.726	161.761	103.342	79.212	140.000	149.211	93.463	104.145	249.612	109.413	136.673	117.300	193.150	70.910	246.235	185.917	175.600	134.393	131.552	195.821	125.160	121.431	134.331	131.408	110.297	118.688	161.708																																																																											
	29.995	9.232	27.679	43.432	36.075	42.859	24.95	3.195	86.753	33.86	23.073	4.608	45.263	42.471	61	60	12.367	42.748	48.7	70.010	154.284	119.454	14.7	22	74.114	126	62.3	33.6	73.622	50	48.905	25.641																																																																												

Nota. Formato ficha predial diligenciado, las imágenes se encuentran en anexos.

Fuente. Propia.

**Figura 52**

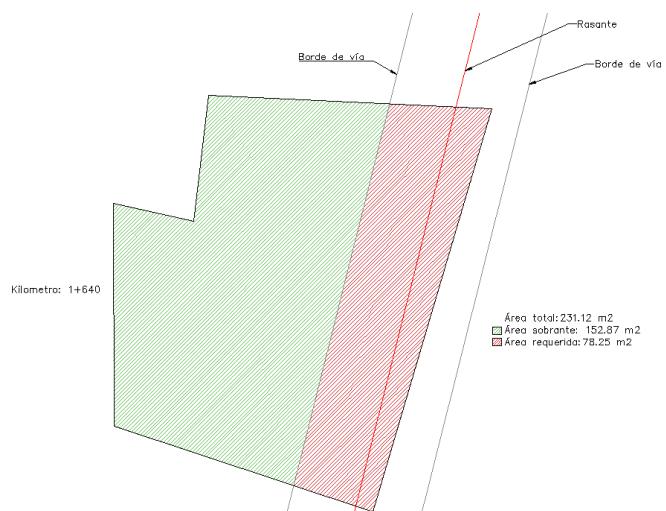
*Vista en planta de predio ubicado en KI+680*



*Nota.* Ilustración detallada del borde de la vía delimitando el área requerida y área sobrante. Fuente. Propia.

**Figura 53**

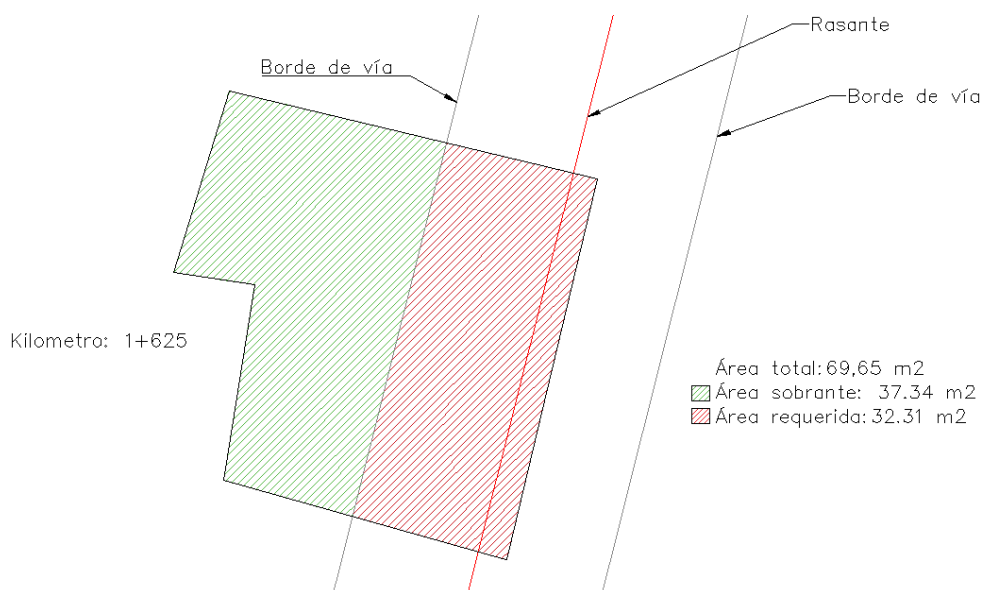
*Vista en planta de predio ubicado en KI+640*



*Nota.* Ilustración detallada del borde de la vía delimitando el área requerida y área sobrante. Fuente. Propia.

**Figura 54**

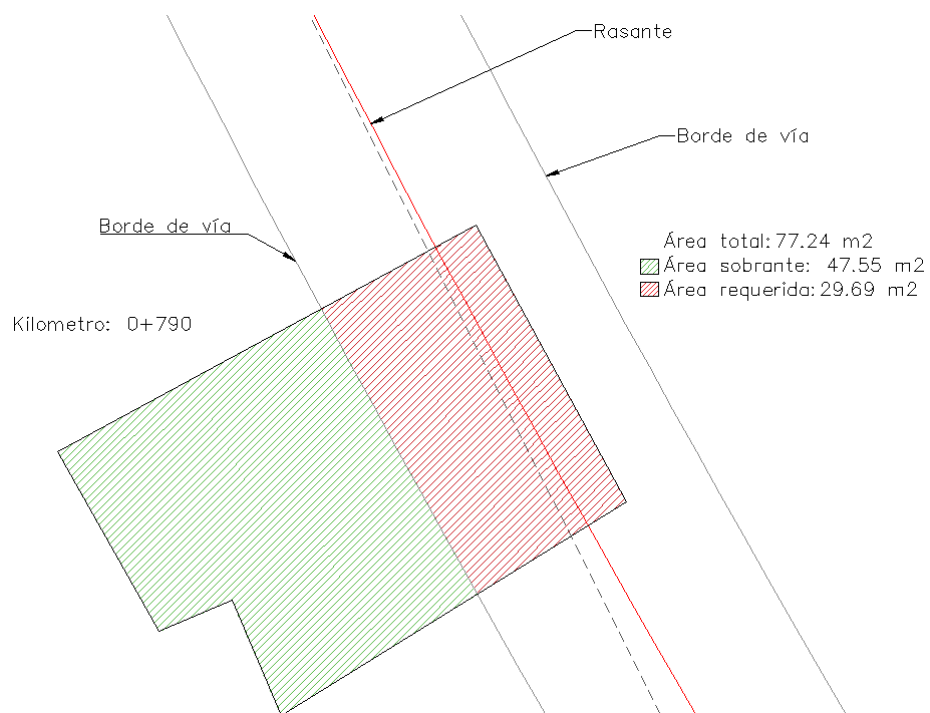
*Vista en planta de predio ubicado en KI+625.*



*Nota.* Ilustración detallada del borde de la vía delimitando el área requerida y área sobrante. Fuente. Propia.

**Figura 55**

*Vista en planta de predio ubicado en K0+790*



*Nota.* Ilustración detallada del borde de la vía delimitando el área requerida y área sobrante. Fuente. Propia.

## 8.8 Presupuesto

**Tabla 31**

*Datos generales del proyecto.*

Carpeta de rodadura	8	cm
Capa de base granular	20	cm
Sub base granular	30	cm
Area Total	38910	m2

<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Localización	ML	3891
Volumen de corte	M3	17179.43
Volumen de relleno	M3	15002.51
Capa de subbase granular	M3	11673
Capa de base granular	M3	7782
Carpeta de Rodadura	M3	3112.8
Cuneta	M3	568.086
Pintura Vial BLANCA	ML	7782
Pintura Vial AMARILLA	ML	3891
Señalización	UND	4
Anden en concreto	M3	350.19

*Nota.* Consideraciones para calcular el presupuesto del proyecto, descripción del elemento y su respectivo resultado. Fuente. Propia.

Tabla 32

Presupuesto del proyecto Optimización del tramo vial Molino Kwe'sx -Caloto

Presupuesto Total	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
<b>1.Preliminares</b>				
Localización y replanteo	ML	\$ 706.00	3891	\$ 2,747,046.00
Predial lotes afectados	M2	\$ 60,000.00	4377.305	\$ 262,638,300.00
Cerramiento provisional en polipropileno verde H=2.1 m	ML	\$ 7,902.00	8024	\$ 63,405,648.00
<b>2.Explanaciones</b>				
Descapote con maquina retroexcavadora cargadora incluye acarreo volqueta- 20 km	M2	\$ 4,120.00	38910	\$ 160,309,200.00
Excavación en Material Común de la Explanación, Canales y Préstamos.	M3	\$ 65,181.00	17179.43	\$ 1,119,772,426.83
Relleno y compactación con material del sitio	M3	\$ 11,684.00	15002.51	\$ 175,289,326.84
<b>3. Vías</b>				
Sub-base granular clase B.	M3	\$ 94,357.00	11673	\$ 1,101,429,261.00
Transporte de materiales de afirmado, base, sub base y mezcla asfáltica	M3-KM	\$ 1,000.00	89882.1	\$ 89,882,100.00
Base granular clase B.	M3	\$ 70,235.00	7782	\$ 546,568,770.00
Transporte de materiales de afirmado, base, sub base y mezcla asfáltica	M3-KM	\$ 1,000.00	59921.4	\$ 59,921,400.00
Mezcla densa en caliente tipo MDC-19.	M3	\$ 435,330.00	3112.8	\$ 1,355,095,224.00
Transporte de materiales de afirmado, base, sub base y mezcla asfáltica	M3-KM	\$ 1,000.00	77820	\$ 77,820,000.00
Berma cuneta conformacion	M2	\$ 57,390.00	7782	\$ 446,608,980.00
¿argue y retiro material de excavación.	M3-KM	\$ 6,493.00	2285.77	\$ 14,841,478.64
<b>4. Alcantarillado</b>				
Cabezal alcantarillado	UND	\$ 3,500,000.00	16	\$ 56,000,000.00
Cuneta de concreto clase D vaciada in situ	M3	\$ 535,634.00	568.086	\$ 304,286,176.52
Tuberia pluvial HR 36"	UND	\$ 1,150,000.00	48	\$ 55,200,000.00
<b>5. Señalización y seguridad vial</b>				
Línea de demarcación con pintura en frío, incluye Microesferas de vidrio reflectivas	UNIDAD	\$ 323,986.69	15	\$ 4,859,800.41
Señalización vertical en lamina reflectiva 60				\$ 5,917,686,538.24

Administración	14%	\$ 856,549,186.31
Imprevistos	4%	\$ 236,707,461.53
Utilidad	5%	\$ 295,884,326.91

<b>Total AIU</b>	<b>23%</b>	<b>\$ 1,389,140,974.75</b>
------------------	------------	----------------------------

<b>Total Costos</b>		<b>\$ 7,306,827,512.99</b>
---------------------	--	----------------------------

Nota. Presupuesto total del proyecto, se considera los ítems de preliminares, explanación, vía, alcantarillado y señalización. Fuente. Propia.

Tabla 33

Descripción del AIU proyecto optimización del tramo vial.

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
<b>1</b>	<b>PERSONAL PROFESIONAL</b>				
	Ingeniero Residente de Obra (3SMMLV)	mes	2	\$ 3,901,818.00	\$ 7,803,636.00
	Residente SST (1.8SMMLV)	mes	3	\$ 1,800,000.00	\$ 5,400,000.00
	Ingeniero Residente Ambiental	mes	1	\$ 2,800,000.00	\$ 2,800,000.00
					<b>\$ 16,003,636.00</b>
<b>2</b>	<b>PERSONAL TECNICO</b>				
	Maestro de Obra	mes	1	\$ 2,500,000.00	\$ 2,500,000.00
	Topografo	mes	1	\$ 2,800,000.00	\$ 2,800,000.00
	Cadenero 1 (1 SMMLV)	mes	1	\$ 1,300,606.00	\$ 1,300,606.00
					<b>\$ 6,600,606.00</b>
<b>3</b>	<b>PERSONAL ADMINISTRATIVO</b>				
	Vigilancia	mes	3	\$ 2,000,000.00	\$ 6,000,000.00
					<b>\$ 6,000,000.00</b>
<b>4</b>	<b>GASTOS OPERACIONALES</b>				
	Costos Campamento de obra	UNIDAD	1	\$ 5,500,000.00	\$ 5,500,000.00
	Suministro y consumos de servicios publicos	mes	4	\$ 1,500,000.00	\$ 6,000,000.00
	Ensayos de control de calidad (3% CD)	GLOBAL	1	\$ 177,530,596.15	\$ 177,530,596.15
	Papeleria	mes	4	\$ 200,000.00	\$ 800,000.00
	Copias/planos/fotocopias	GLOBAL	1	\$ 1,600,000.00	\$ 1,600,000.00
	Registro fotografico/videos/informes	GLOBAL	1	\$ 2,400,000.00	\$ 2,400,000.00
	Registro y elaboracion de planos record	GLOBAL	1	\$ 2,400,000.00	\$ 2,400,000.00
	Costo proporcional oficina central	mes	4	\$ 600,000.00	\$ 2,400,000.00
	Gastos de administracion	mes	4	\$ 2,500,000.00	\$ 10,000,000.00
	Publicaciones contrato (0.12% CT)	GLOBAL	1	\$ 7,385,905.65	\$ 7,385,905.65
	Polizas (6% CT)	GLOBAL	1	\$ 369,295,282.58	\$ 369,295,282.58
	Costos financieros (0.5% CT)	GLOBAL	1	\$ 30,774,606.88	\$ 30,774,606.88
					<b>\$ 616,086,391.26</b>
<b>5</b>	<b>IMPUESTOS</b>				
	Retencion en la fuente (3% CT)	GLOBAL	1	\$ 184,647,641.29	\$ 184,647,641.29
	ICA (1% CT)	GLOBAL	1	\$ 61,549,213.76	\$ 61,549,213.76
					<b>\$ 246,196,855.06</b>
<b>1</b>	<b>ADMINISTRACIÓN</b>	%	14%		<b>\$ 890,887,488.32</b>
<b>2</b>	<b>IMPREVISTOS</b>	%	4%		<b>\$ 236,707,461.53</b>
<b>3</b>	<b>UTILIDAD</b>	%	5%		<b>\$ 295,884,326.91</b>
	<b>TOTAL AIU</b>		<b>23%</b>		<b>\$ 1,423,479,276.76</b>
	Costo Directo			\$	5,917,686,538.2420
	Costo Total			\$	<b>7,341,165,815.0036</b>

Nota. Descripción del AIU del proyecto, considerando el personal profesional, personal técnico, personal administrativo, gastos operaciones y los impuestos. Fuente. Propia.

## 8.9 Programación

**Tabla 34**

*Descripción de la programación de obra*

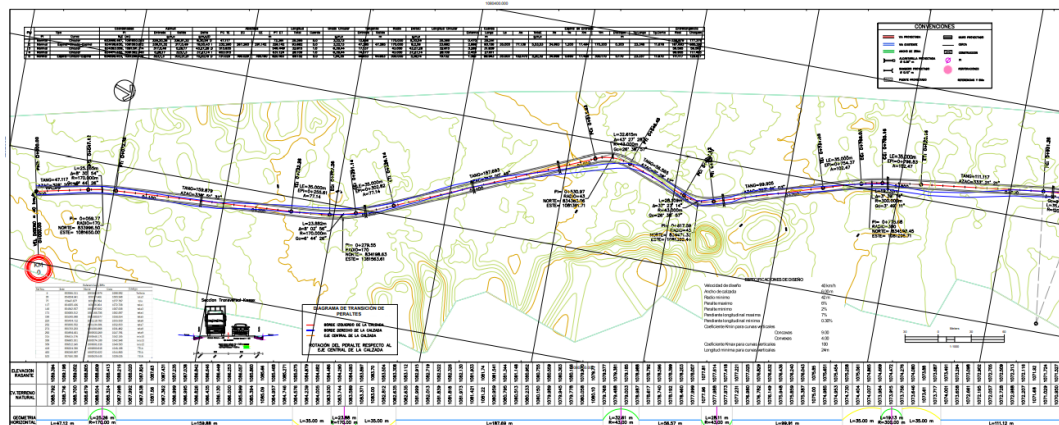
WBS	TAREAS	UND	CANTIDAD DIAS	RENDIMIENTO	Comienzo	Fin	Duracion	% Ejecutado
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>							
1.1	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	días	3	1	jue 01/08/24	mar 06/08/24	3	
1.2	CERRAMIENTO PROVISORIAL	días	3	1	mié 07/08/24	lun 12/08/24	3	
<b>2</b>	<b>EXPLANACIONES</b>							
2.1	DESCAPOTE VIA EXISTENTE	días	8	1	mar 13/08/24	lun 26/08/24	8	
2.2	EXCAVACION MATERIAL COMUN DE LA EXPLANACION	días	60	1	mar 27/08/24	vie 22/11/24	60	
2.3	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL DE SITIO	días	40	1	sáb 26/10/24	mar 07/01/25	40	
<b>3</b>	<b>ALCANTARILLADO</b>							
3.1	INSTALACIONES PLUVIALES TUBERIA H.R 36"	días	45	1	mié 28/08/24	jue 31/10/24	45	
3.2	AMARRE ACERO CABEZALES	días	90	1	mar 15/10/24	jue 06/03/25	90	
<b>4</b>	<b>VIA</b>							
4.1	RIEGO MATERIAL GRANULAR TIPO SUB BASE AL 95% DEL PROCTOR MODIFICADO	días	15	1	sáb 12/10/24	mar 05/11/24	15	
4.2	CEREO MATERIAL GRANULAR SUB BASE	días	20	1	sáb 26/10/24	mar 26/11/24	20	
4.3	RIEGO MATERIAL GRANULAR TIPO BASE AL 98% DEL PROCTOR MODIFICADO	días	20	1	dom 17/11/24	vie 13/12/24	20	
4.4	CEREO MATERIAL GRANULAR BASE	días	25	1	vie 06/12/24	vie 24/01/25	25	
4.5	FUNDICION MEZCLA ASFALTICA MDC-19	días	25	1	sáb 07/12/24	vie 24/01/25	25	
4.6	AMARRE ACERO CUNETAS	días	90	1	lun 28/10/24	mié 19/03/25	90	
4.7	FORMALETEO BORDILLOS	días	90	1	mié 23/10/24	vie 14/03/25	90	
4.8	FUNDICION BERMA CUNETAS 3000 PSI TM 1/2"	días	60	1	vie 25/10/24	mar 04/02/25	60	
<b>5</b>	<b>SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL</b>							
5.1	SEÑALIZACION HORIZONTAL	días	15	1	mié 29/01/25	mié 19/02/25	15	
5.2	SEÑALIZACION VERTICAL	días	15	1	jue 20/02/25	jue 13/03/25	15	
5.3	LIMPIEZA	días	15	1	vie 14/03/25	lun 07/04/25	15	
<b>12</b>	<b>PUESTA EN MARCHA</b>							
12.1	ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA	días	10	1	mar 08/04/25	mar 29/04/25	10	

*Nota.* Descripción de la programación de obra, descripción, fecha de inicio de actividades, cantidad de día. Fuente. Propia.

8.10 Planos

**Figura 56**

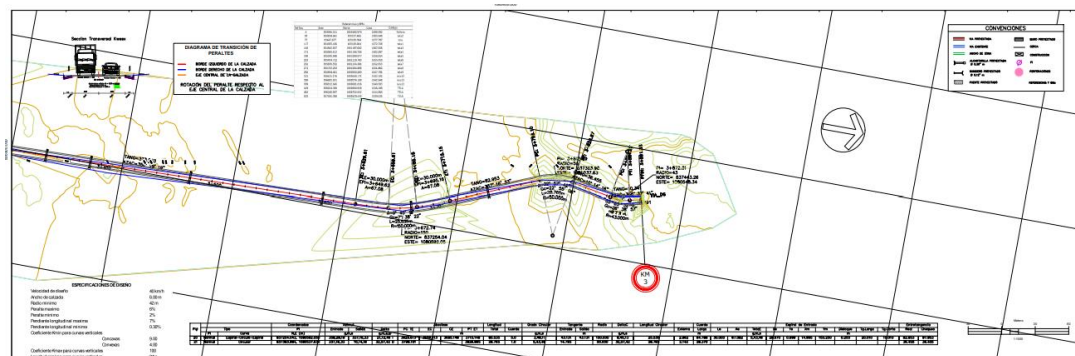
*Ilustración de planos finales, inicio de la vía abscisa K0+000*



*Nota.* Planos viales inicio de vía abscisa K0+000. Fuente. Propia.

**Figura 57**

*Ilustración de planos finales de la vía abscisa K4+000*



*Nota.* Planos viales fin de la vía abscisa K4+000. Fuente. Propia.

## 9. Conclusión

Después de un análisis exhaustivo del estado de las vías terciarias en la vereda López Adentro del municipio de Caloto, Cauca, se ha identificado la ausencia de intervención para su mejoramiento y mantenimiento, así como condiciones de drenaje inadecuadas. Estas deficiencias impactan directamente en la movilidad de la comunidad hacia el molino Kwe'sx, generando desafíos significativos que afectan su competitividad en los mercados local y nacional, especialmente en el sector agroindustrial.

A pesar de enfrentar un contexto de conflicto armado en la región, la resiliencia de la comunidad se hace evidente en su determinación por destacarse en el mercado del cultivo del arroz y del café, buscando alejar a la comunidad de la pobreza y el conflicto. Sin embargo, estas aspiraciones se ven limitadas por las condiciones precarias de las vías.

Para abordar esta problemática, se ha completado una etapa de estudio de prefactibilidad del proyecto, que incluyó evaluaciones detalladas del estado de las vías, análisis del impacto ambiental y social, así como consideraciones financieras. Se han generado alternativas de diseño vial y se ha llevado a cabo una rigurosa planificación, utilizando tecnologías avanzadas como RTK y fotogrametría para la topografía del terreno.

El diseño vial propuesto incluye peraltes adecuados y curvas optimizadas para mejorar la seguridad y la eficiencia del tráfico. Además, se han considerado aspectos hidrológicos y geotécnicos para garantizar la estabilidad y durabilidad de la infraestructura vial.

El proyecto también contempla el uso de materiales apropiados y espesores adecuados para el pavimento, asegurando un desempeño óptimo a lo largo de su vida útil. Los costos asociados al proyecto se han calculado detalladamente, permitiendo una gestión precisa del presupuesto y garantizando la viabilidad financiera del mismo.

En resumen, este proyecto de mejoramiento vial representa una oportunidad crucial para mejorar la calidad de vida de la comunidad de la vereda López Adentro, facilitando el acceso a los mercados y fortaleciendo su capacidad productiva. Su implementación requerirá un esfuerzo coordinado entre diferentes actores, pero los beneficios potenciales justifican ampliamente la inversión en esta iniciativa.

## **10. Anexos**

Optimización vial, cálculos completos.

Ficha predial Tramo Vial Caloto Cauca

Planos viales vía Caloto Cauca abscisa K0+000 hasta K4+000

APUS

Planos estructurales cuneta

Cálculos geotecnia

Cálculos hidráulicos

Cálculos topografía

Cálculos pavimento

Cálculo diseño geométrico

Programación de Obra.

## 11. Referencias

ADENTRO, E. D. (2016-2019). *Plan de Vida y Desarrollo Resguardo Indígena de López*. Caloto.

INVIAS. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de carreteras*.

MIIG-Resultado Búsqueda. (s/f). Gov.co. Recuperado el 13 de octubre de 2023, de <https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k:Ocurrencias+Minerales+del+departamento+d+el+Cauca>

(S/f). Gov.co. Recuperado el 27 de noviembre de 2023, de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/proyectos-de-norma/11314-manual-de-estabilidad-de-taludes-geotecnia-vial-1998/file>

El diseño, A. 1. 1. 1. —., de la República de Colombia debe someterse a los criterios y requisitos mínimos que se establecen en la Normas Sismo Resistentes Colombianas, C. y. S. T. de E. en el T., & comprenden:, las C. (s/f). *A.1.1 — NORMAS SISMO RESISTENTES COLOMBIANAS*. Org.co. Recuperado el 27 de noviembre de 2023, de <https://www.scg.org.co/Titulo-A-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-13.pdf>

Instituto Nacional de Vías - INVÍAS. (2016). *Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos>

INVIAS. (11 de abril de 2013). Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-ydocumentos/documentos-tecnicos/3807-manual-de-diseno-de-pavimentos-de-concretopara-vias-con-bajos-medios-y-altos-volumenes-de-transito/file>

INVIAS. (2009). Manual de drenaje para carreteras. Bogotá., D.C.: INVIAS. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-ydocumentos/documentostecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras>.