



**PREDISEÑO INTEGRAL DE LA VIA PUENTE LA LIBERTAD – EL  
ARBOLITO, SECTOR K19+970 AL K21+970**

**JORGE WILLIAM GIRALDO BETANCUR  
COD. 5304009**

**JULIO CESAR SALGADO GALEANO  
COD. 5304017**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE MANIZALES**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS Y TRANSPORTE**

**MANIZALES, MARZO DE 2005**



**PREDISEÑO INTEGRAL DE LA VIA PUENTE LA LIBERTAD – EL  
ARBOLITO, SECTOR k19+970 AL K21+970**

**JORGE WILLIAM GIRALDO BETANCUR  
COD. 5304009**

**JULIO CESAR SALGADO GALEANO  
COD. 5304017**

**Director**

**Ingeniero FELIPE VILLEGAS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE MANIZALES**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS Y TRANSPORTE**

**MANIZALES, MARZO DE 2005**



## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>1 OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL.	3
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
<b>2 LOCALIZACION</b>	<b>4</b>
<b>3 DISEÑO GEOMETRICO</b>	<b>5</b>
3.1 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ESPECIFICACIONES.	5
3.2 CRITERIOS DE DISEÑO.	5
3.2.1 VELOCIDAD	5
3.2.1.1 VELOCIDAD DE DISEÑO	6
3.2.2 VISIBILIDAD	6
3.2.2.1 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	7
3.2.2.2 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO	8
3.2.2.3 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ENCUENTRO	9
3.3 ALINEAMIENTO HORIZONTAL	9
3.3.1 ALINEAMIENTOS RECTOS Y CURVOS	9
3.3.2 ENTRETANGENCIAS	9
3.3.3 PERALTE	10
3.3.4 RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS	11
3.4 ALINEAMIENTO VERTICAL	11
3.4.1 PENDIENTES	11
3.4.2 CURVAS VERTICALES	12
<b>4 ESTUDIO GEOLÓGICO</b>	<b>14</b>
4.1 COMENTARIOS GENERALES	14
4.2 GEOLOGÍA	14
4.3 GEOMORFOLOGÍA	15
4.4 FORMACIONES SUPERFICIALES	17
4.5 USO DEL SUELO	17
4.6 PROCESOS EROSIVOS	18
4.7 MORFOMETRÍA	20
<b>5 ESTUDIO GEOTECNICO</b>	<b>21</b>
5.1 Prospección Geotécnica	21
5.2 Descripción de las perforaciones	21
5.3 Características Geotécnicas de los Materiales	22
5.3.1 Carta de Plasticidad	22



5.3.2	Pasante del tamiz 200	22
5.3.3	Limite Líquido	23
5.3.4	Humedad Natural	23
5.3.5	Índice de plasticidad	23
5.3.6	Peso Unitario	23
5.3.7	Angulo de Fricción	23
5.3.8	Cohesión	24
5.3.9	Resistencia a la Compresión Inconfinada	24
<b>5.4</b>	<b>Ensayos de Laboratorio y Campo</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS</b>	<b>25</b>
<b>6.1</b>	<b>Resultados del análisis de estabilidad</b>	<b>26</b>
6.1.1	Espesor del depósito potencialmente inestable 2 m:	26
6.1.1.1	No Agua No Sismo	26
6.1.1.2	No Agua y Si Sismo	27
6.1.1.3	Si Agua y No Sismo	27
6.1.1.4	Si Agua y Si Sismo	27
6.1.2	Espesor del depósito potencialmente inestable 3 m.	27
6.1.2.1	No Agua No Sismo	27
6.1.2.2	No Agua y Si Sismo	27
6.1.2.3	Si Agua y No Sismo	27
6.1.2.4	Si Agua y Si Sismo	28
<b>6.2</b>	<b>Obras Geotécnicas Especiales</b>	<b>28</b>
6.2.1	Abscisa K21 + 970	28
6.2.2	Abscisa K21 + 200	28
6.2.3	Abscisa K20 + 120	28
<b>7</b>	<b>RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS GENERALES</b>	<b>30</b>
<b>8</b>	<b>HIDROLOGIA</b>	<b>31</b>
<b>8.1</b>	<b>Temperatura:</b>	<b>31</b>
<b>8.2</b>	<b>Precipitación promedio:</b>	<b>31</b>
<b>8.3</b>	<b>Humedales:</b>	<b>32</b>
<b>8.4</b>	<b>Cuencas dentro de la zona de estudio:</b>	<b>32</b>
8.4.1	Cuenca del Ríoclaro	32
8.4.2	Cuenca del río Chinchiná	32
8.4.3	Microcuencas de la zona de estudio	33
<b>8.5</b>	<b>Aprovechamiento fuentes hídricas:</b>	<b>33</b>
<b>9</b>	<b>DISEÑO DEL PAVIMENTO</b>	<b>34</b>
<b>9.1</b>	<b>Parámetros y Factores de Diseño</b>	<b>34</b>
9.1.1	Análisis de Tránsito	34
9.1.2	Serie histórica	34
9.1.3	Período de Diseño	34
9.1.4	Proyección del Volumen de Tránsito Futuro al Año base o de puesta de servicio el Pavimento	35
9.1.5	Proyección del Volumen Total del Tránsito en el Período de Diseño	38
9.1.6	Volumen de Vehículos Pesados (Buses + Camiones) esperados en el primer año de servicio por el Carril de Diseño	39



9.1.7	Estimativo de Ejes de 8.2 Toneladas	39
9.1.8	Caracterización de la Resistencia de Diseño de la Subrasante	41
<b>9.2</b>	<b>DISEÑO EMPIRICO MECANICISTA (CON DEPAV)</b>	<b>42</b>
9.2.1	Parámetros y cálculos preliminares	42
9.2.2	Análisis mecanicista con el programa Depav	45
<b>9.3</b>	<b>Diseño por el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes</b>	<b>46</b>
<b>9.4</b>	<b>DISEÑO POR EL MÉTODO AASHTO</b>	<b>47</b>
9.4.1	Parámetros y cálculos preliminares	47
9.4.2	Cálculo del número estructural y análisis de capas	48
<b>9.5</b>	<b>DISEÑO POR EL MÉTODO EMPÍRICO DE LA ROAD NOTE 31/1993</b>	<b>50</b>
<b>9.6</b>	<b>RESUMEN DISEÑOS ESTIMADOS PARA EL PAVIMENTO VIA PUENTE LA LIBERTAD – EL ARBOLITO DEL K 19 + 970 AL K 21 + 970</b>	<b>51</b>
9.6.1	MÉTODO EMPIRICO – MECANICISTAS (CON DEPAV)	51
9.6.2	MÉTODOS EMPIRICOS (Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes)	52
9.6.3	MÉTODO AASHTO	52
9.6.4	MÉTODO ROAD NOTE 31 DE 1993	53
<b>10</b>	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>54</b>
<b>10.1</b>	<b>Síntesis</b>	<b>54</b>
<b>10.2</b>	<b>Descripción y análisis del proyecto</b>	<b>55</b>
<b>10.3</b>	<b>Estimación de requerimiento de personal para cada actividad</b>	<b>56</b>
<b>10.4</b>	<b>Demanda de recursos naturales del proyecto</b>	<b>56</b>
<b>10.5</b>	<b>Caracterización ambiental del área de estudio</b>	<b>57</b>
10.5.1	Trazado y características geométricas (planta, perfil y cortes típicos)	57
10.5.2	Tipo de estructuras necesarias	57
10.5.3	Necesidad de desvíos y canalizaciones de cauces definitivas	57
10.5.4	Infraestructura de servicios interceptados	57
10.5.5	Organización de los trabajos a emprender	58
10.5.6	Demanda de recursos naturales	59
<b>10.6</b>	<b>Caracterización ambiental del área de estudio</b>	<b>59</b>
10.6.1	Aspectos biofísicos	59
10.6.1.1	Geología	59
10.6.1.2	Geotecnia	59
10.6.1.3	Hidrología	60
10.6.2	Componente faunístico	60
<b>10.7</b>	<b>Aspecto social</b>	<b>60</b>
10.7.1	Demografía	60
10.7.2	Educación	60
10.7.3	Culto	60
<b>10.8</b>	<b>Servicios públicos.</b>	<b>61</b>
<b>10.9</b>	<b>Identificación y evaluación de impactos</b>	<b>61</b>
<b>10.10</b>	<b>Descripción de impactos ambientales</b>	<b>61</b>



10.10.1	Impactos positivos	62
10.10.2	Impactos negativos	63
<b>10.11</b>	<b>Discusión de los resultados</b>	<b>64</b>
<b>10.12</b>	<b>Plan de manejo ambiental</b>	<b>69</b>
10.12.1	Programa de educación ambiental.	69
10.12.1.1	Justificación	69
10.12.1.2	Objetivos	69
10.12.1.3	Impactos a controlar	69
10.12.1.4	Tiempo	70
10.12.1.5	Costos	70
10.12.1.6	Responsable	70
10.12.2	Programa de señalización nocturna y diurna de la obra.	70
10.12.2.1	Justificación	70
10.12.2.2	Objetivos	70
10.12.2.3	Impactos a controlar	71
10.12.2.4	Tiempo de Duración	71
10.12.2.5	Costos del Programa	71
10.12.2.6	Responsable	71
10.12.3	Programa de información de la realización del proyecto dirigido a la comunidad cercana al mismo para la contratación de mano de obra.	72
10.12.3.1	Justificación	72
10.12.3.2	Objetivo	72
10.12.3.3	Impactos a controlar	72
10.12.3.4	Descripción de Actividades	72
10.12.3.5	Participantes	72
10.12.3.6	Tiempo de Ejecución	73
10.12.3.7	Costos del Programa	73
10.12.3.8	Responsable	73
10.12.4	Programa de acercamiento, información y comunicación de la realización del proyecto dirigido a la comunidad en general.	73
10.12.4.1	Justificación	73
10.12.4.2	Objetivo	73
10.12.4.3	Impactos a controlar	73
10.12.4.4	Descripción de Actividades	74
10.12.4.5	Participantes	74
10.12.4.6	Tiempo de Ejecución	74
10.12.4.7	Costos del Programa	74
10.12.4.8	Responsable	74
10.12.5	Programa de limpieza y rocería de las zonas de seguridad de la vía, durante la etapa de realización del proyecto.	74
10.12.5.1	Justificación	74
10.12.5.2	Objetivos	75
10.12.5.3	Impactos a controlar	75
10.12.5.4	Desarrollo de actividades	75
10.12.5.5	Participantes	75
10.12.5.6	Responsable	75
10.12.5.7	Tiempo de Ejecución	75
10.12.5.8	Costos	75
10.12.6	Programa de empradización	76
10.12.6.1	Justificación	76
10.12.6.2	Objetivos	76
10.12.6.3	Impactos a controlar	76





## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1 CLASIFICACIÓN DE LA VÍA</b>	<b>5</b>
<b>TABLA 2 VELOCIDADES DE DISEÑO SEGUN TIPO DE CARRETERA Y TERRENO</b>	<b>6</b>
<b>TABLA 3 MÍNIMA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES DOS SENTIDOS</b>	<b>8</b>
<b>TABLA 4 COEFICIENTES DE FRICCIÓN LATERAL</b>	<b>10</b>
<b>TABLA 5 PERALTE ESPERADO</b>	<b>11</b>
<b>TABLA 6 RELACION ENTRE PENDIENTE MAXIMA (%) Y VELOCIDAD DE DISEÑO</b>	<b>12</b>
<b>TABLA 7 Lista de chequeo para caracterización de procesos erosivos CORPOCALDAS, (2002).</b>	<b>19</b>
<b>TABLA 8 Clasificación de pendientes.</b>	<b>20</b>
<b>TABLA 9 Categoría de la Vía</b>	<b>35</b>
<b>TABLA 10 Volumen Total del Tránsito en el Período de Diseño Vía Puente La Libertad - El Arbolito (estación 442)</b>	<b>38</b>
<b>TABLA 11 Cálculo de los Factores de Carga</b>	<b>40</b>
<b>TABLA 12 CBRs DE DISEÑO OBTENIDOS POR LA CORRELACION CON EL ENSAYO PDC</b>	<b>41</b>
<b>TABLA 13 CUADRO RESUMEN CBRs &amp; Módulos Resilientes</b>	<b>42</b>
<b>TABLA 14 ESPESORES MÍNIMOS RECOMENDADOS PARA ESTE DISEÑO</b>	<b>43</b>
<b>TABLA 15 CALCULOS DE LOS MODULOS DE ELASTICIDAD</b>	<b>43</b>
<b>TABLA 16 CUADRO DE LOS CÁLCULOS OBTENIDOS POR LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA ROADENT 4.0 (POR EL PROGRAMA KENLAYER)</b>	<b>44</b>
<b>TABLA 17 ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA ANÁLISIS CON DEPAV</b>	<b>44</b>
<b>TABLA 18 CONFIGURACIÓN DE LA CARGA EN DEPAV</b>	<b>45</b>
<b>TABLA 19 ESPESORES OBTENIDOS</b>	<b>45</b>
<b>TABLA 20 TRANSITO</b>	<b>46</b>
<b>TABLA 21 CATEGORÍA DE LA SUBRASANTE</b>	<b>46</b>
<b>TABLA 22 ESPESORES OBTENIDOS</b>	<b>46</b>
<b>TABLA 23 VALORES DE RESISTENCIA PARA LOS MATERIALES</b>	<b>48</b>





<i>TABLA 24 ESPESORES OBTENIDOS AASHTO</i>	<i>50</i>
<i>TABLA 25 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE LAS OBRAS A DESARROLLAR</i>	<i>58</i>
<i>TABLA 26 PARAMETROS DE EVALUACION Y CALIFICACION DE IMPACTOS</i>	<i>66</i>
<i>TABLA 27 RANGOS DE CALIFICACION DE LOS PARAMETROS</i>	<i>67</i>
<i>TABLA 28 CRONOGRAMA DETALLADO DE LAS ETAPAS DEL PLAN DE MANEJO</i>	<i>84</i>
<i>TABLA 29 COSTOS DE EJECUCION DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL</i>	<i>85</i>



## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Valle glaciar</i>	<u>16</u>
<i>Figura 2. Formas redondeadas por cobertura de cenizas</i>	<u>16</u>
<i>Figura 3. Cenizas y Paleosuelo</i>	<u>17</u>
<i>Figura 4. Deslizamiento 1. Rotacional (a) - Caída de roca. Proceso erosivo 4 (b)</i>	<u>18</u>



## LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1.** Cartera de diseño geométrico horizontal
- Anexo 2.** Cartera de diseño geométrico vertical
- Anexo 3.** Cartera de diseño geométrico transición de peraltes
- Anexo 4.** Cartera de volúmenes de movimiento de tierras
- Anexo 5.** Caracterización de procesos erosivos
- Anexo 6.** Ensayos de laboratorio
- Anexo 7.** Chequeo de obras hidráulicas
- Anexo 8.** Correlación ensayo Penetrómetro Dinámico de Cono - CBR
- Anexo 9.** Resultados DEPAV
- Anexo 10.** Presupuesto de obra
- Anexo 11.** Registro fotográfico
- Anexo 12.** Plano localización vía.
- Anexo 13.** Planos Diseño geométrico horizontal y vertical
- Anexo 14.** Planos secciones transversales
- Anexo 15.** Planos formaciones superficiales
- Anexo 16.** Planos Mapa geológico
- Anexo 17.** Planos de pendientes
- Anexo 18.** Planos mapa usos del suelo
- Anexo 19.** Planos localización obras de contención y drenaje
- Anexo 20.** Plano perfil geotécnico
- Anexo 21.** Plano detalles constructivos obras



## RESUMEN

La vía PUENTE LA LIBERTAD – EL ARBOLITO es una carretera secundaria que hace parte de la red vial del Departamento de Caldas; ubicada en la zona centro sur del Departamento en los Municipios de Manizales y Villamaría. Es de suma importancia para el desarrollo turístico del Parque Natural Nevado del Ruiz y de sus aguas termales.

El prediseño integral de la vía mencionada, se llevó a cabo en el sector k19+970 al k21+970, siendo el K0+000 el Puente La Libertad, ubicado en la salida del Municipio de Manizales hacia Bogotá.

El estudio se inicia con el levantamiento topográfico de los 2 kilómetros mediante estación total y con el programa Autocad Land se lleva a cabo el diseño geométrico de la vía, cumpliendo para tal fin las especificaciones técnicas del INSTITUTO NACIONAL DE VIAS – INVIAS.

Simultáneamente se realizan visitas de campo con la cuales desarrollamos el estudio geológico – geotécnico mediante la identificación de unidades litológicas, prospección geotécnica y análisis de estabilidad de laderas; luego mediante apique cada 200 m se realizaron una serie de ensayos de laboratorio tales como: Límites de Atterberg, humedad natural, lavado sobre tamiz 200, Penetrómetro Dinámico de Cono y CBR inalterados cada 500 m.

Posteriormente se llevó a cabo el Estudio Hidrológico del área de influencia del corredor con la identificación de líneas de drenaje, inventario de obras de arte existentes y evaluación hidráulica de las mismas.

Una vez determinados el CBR de la subrasante (correlación con el PDC) y el tránsito en el período de diseño, se realizó el diseño del pavimento considerando una estructura flexible con capa de rodadura asfáltica por los siguientes métodos: Bajos Volúmenes de Tránsito del INSTITUTO NACIONAL DE VIAS –INVIAS-, AASHTO, DEPAV y ROAD NOTE 31 1993.

Posteriormente se procedió a desarrollar el Plan de Manejo Ambiental, tomando como base los Términos de Referencia para proyectos viales de la CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE CALDAS.

Finalmente, una vez realizado el diseño y los estudios detallados, se cuantificaron las cantidades de obra y se elaboró el presupuesto con precios actuales del mercado.



**ABSTRACT**



## INTRODUCCION

El Parque Natural de los Nevados, reserva hidrológica, de flora y fauna silvestre con especies en vía de extinción y con gran potencial turístico, no cuenta con la infraestructura vial necesaria para que los visitantes propios y ajenos accedan a la zona de manera segura, cómoda y ágil.

Las alternativas viales para acceder al parque desde Manizales, el norte y el occidente colombiano se limitan a dos opciones: La primera y más usada por su estado es Puente la Libertad – La Esperanza – Brisas - El Cisne, es una vía de aproximadamente 51 Km, la cual en el primer tramo Puente la Libertad – La Esperanza (23 Km.) hace parte de la red primaria vial nacional, pavimentada y en buen estado. El segundo tramo La Esperanza – Brisas – El Cisne (28 Km.), es una vía de tercer orden sin pavimentar en mal estado y con poco o ningún mantenimiento rutinario y/o periódico. La segunda opción, Puente La Libertad – El Arbolito – Brisas – El Cisne, es una vía de aproximada 46 Km, de los cuales el primer tramo, Puente La Libertad – El Arbolito (26 Km), está pavimentada en un 50% (13 Km), el otro 50% se encuentra en muy mal estado. En este tramo se encuentran dos atractivos turísticos de gran importancia para la región, como son los Termales del Otoño y los Termales del Ruiz, a los cuales llega gran afluencia de turistas, por lo que es imperativo proveer de una vía con las especificaciones técnicas adecuadas para la seguridad y comodidad del usuario.

Es por esta razón que se ha decidido desarrollar en las páginas siguientes el PREDISEÑO INTEGRAL DE LA VIA PUENTE LA LIBERTAD – EL ARBOLITO, SECTOR k19+970 AL K21+970.

Este prediseño integral incluye los siguientes estudios:

- Levantamiento topográfico: Llevado a cabo mediante estación total.
- Diseño geométrico de la vía: Horizontal y vertical empleando ayuda del programa de diseño geométrico Autocad Land.
- Estudio geológico.
- Estudio geotécnico.
- Estudio Hidrológico.
- Diseño del pavimento: Mediante cuatro métodos de diseño (AASHTO, DEPAV, MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE BAJOS VOLUMENES DE TRANSITO DEL INVIAS Y ROAD NOTE 31 1993).
- Estudio de Impacto ambiental.
- Presupuesto de obra.



Los anteriores estudios fueron apoyados por visitas de campo y ensayos de laboratorio.

Este documento pretende servir de herramienta para que los entes territoriales lleven a cabo la pavimentación de tan importante vía y de esta forma incrementar el flujo turístico de la región.



## **1 OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL.**

- Realizar el prediseño geométrico y el prediseño de la estructura del pavimento de la vía PUENTE LA LIBERTAD - EL ARBOLITO en el sector k19+970 AL K21+970, aplicando las especificaciones técnicas del INVIAS sin que estas sean de obligatorio cumplimiento.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar el diseño geométrico del tramo de vía en estudio, aplicando el programa Auto CAD Land y las especificaciones técnicas del INVIAS, sin que estas sean de obligatorio cumplimiento
- Realizar el estudio geológico - geotécnico del corredor vial mediante la identificación de unidades litológicas, prospección geotécnica, ensayos de laboratorio y análisis de estabilidad de laderas.
- Realizar el estudio hidrológico del área de influencia del corredor estudiado con el fin de identificar líneas de drenaje, inventario y evaluación hidráulica de obras de arte existentes.
- Realizar el diseño del pavimento del tramo de vía.
- Realizar el Plan Básico de Manejo ambiental.
- Realizar el presupuesto de obra.





## 2 LOCALIZACION

La vía Puente de la Libertad – el Arbolito objeto de estudio se encuentra ubicada en los Municipios de Manizales y Villamaría, en la zona centro-sur del Departamento de Caldas, República de Colombia.

El K0+000 de la vía el Puente la Libertad se ubica en el sector oriental del Municipio de Manizales, salida hacia Bogotá. Desde este sitio hacia el Arbolito (K25+200) se inicia un constante ascenso de aproximadamente 1500 m, lo que en promedio nos da una pendiente del 6 %.

Aproximadamente los primeros 10 kms se encuentran pavimentados con rodadura asfáltica, destacándose en este trayecto el Barrio la Enea de la Ciudad de Manizales y su terminal de transporte, El acceso al Sena (regional Caldas) y la vereda gallinazo del Municipio de Villamaría. En el Km 7 aproximadamente se encuentra el Hotel Termales El Otoño, lugar muy concurrido por sus aguas y termales y su belleza natural.

Después del K10 la pendiente se hace más fuerte y se encuentra una vía en afirmado de muy bajas especificaciones y muy mal estado, con pocas viviendas en su recorrido.

Hacia el K18+400 se encuentra el Hotel Termales del Ruiz, que al igual al del Otoño, son un fuerte atractivo turístico para propios y extranjeros.

En el K19+970, sitio de inicio del tramo en estudio se encuentra la única casa que existe desde Termales del Ruiz hasta El Arbolito.

Del K21+970, sitio de terminación del tramo en estudio, hasta el Km 25+200, El Arbolito, la vía se encuentra pavimentada con capa de rodadura en doble riego, la cual presenta un buen comportamiento.

En el anexo 12, plano 13 se observa la localización de la vía.



### 3 DISEÑO GEOMETRICO

#### 3.1 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ESPECIFICACIONES.

Las especificaciones técnicas empleadas en el diseño geométrico son las del Manual de Diseño Geométrico del Instituto Nacional de Vías, a excepción de aquellas especificaciones que por las condiciones propias del proyecto (Topografía, medio ambiente, predios. Etc.) no se pudieron ceñir a las del manual.

**TABLA 1 CLASIFICACIÓN DE LA VÍA**

<b>CLASIFICACIÓN CARRETERA</b>	TERCIARIA
<b>TIPO DE TERRENO</b>	MONTAÑOSO
<b>TIPO DE SUPERFICIE (RODADURA ACTUAL)</b>	AFIRMADO
<b>TIPO DE VÍA DE ACUERDO A SU CAPACIDAD DE SERVICIO</b>	VÍA DE DOS CARRILES
<b>ANCHO DE CALZADA PROMEDIO</b>	5.00 m.

#### 3.2 CRITERIOS DE DISEÑO.

##### 3.2.1 VELOCIDAD

El diseño geométrico de una carretera se debe definir en relación directa con la velocidad a la que se desea circulen los vehículos en condiciones aceptables de comodidad y seguridad.

En general el término velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido por un vehículo y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Esto es, para un vehículo representa su relación de movimiento, usualmente expresada en kilómetros por hora (Km. /h).



### 3.2.1.1 VELOCIDAD DE DISEÑO

La velocidad de diseño o velocidad de proyecto de un tramo de carretera es la velocidad de referencia que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y seguridad.

Se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en una sección determinada de una vía, cuando las condiciones son tan favorables, que las características geométricas del diseño de la vía predominan.

El manual de INVIAS en el numeral 3.1.3.1 presenta unos rangos de velocidades de acuerdo a la clasificación de la carretera y al tipo de terreno; y para la vía en estudio se tiene:

**TABLA 2 VELOCIDADES DE DISEÑO SEGUN TIPO DE CARRETERA Y TERRENO**

TIPO DE CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO Vd (Km./Hr)		
		30	40	50
Carretera Terciaria	Plano			
	Ondulado			
	Montañoso			
	Escarpado			

Nota: Velocidad de diseño asumida de 30Km. /Hr.

### 3.2.2 VISIBILIDAD

La distancia de visibilidad se define como la longitud continua de carretera que es visible hacia adelante por el conductor de un vehículo que circula por ella.

Esta distancia de visibilidad deberá ser de suficiente longitud, tal que le permita a los conductores desarrollar la velocidad de diseño y a su vez controlar la velocidad de operación de sus vehículos ante la realización de ciertas maniobras en la carretera, como lo puede ser por la presencia inesperada de un obstáculo sobre su carril de circulación, o el adelantamiento de un vehículo lento en carreteras de dos carriles dos sentidos, o la del cruce con una vía secundaria, o el encuentro de dos vehículos que circulan por el mismo carril en sentidos opuestos en carreteras terciarias de calzadas angostas.



Por lo anterior, para el proyecto de carreteras, deberán tenerse en cuenta cuatro tipos de distancias de visibilidad:

- Distancia de visibilidad de parada
- Distancia de visibilidad de adelantamiento
- Distancia de visibilidad de cruce
- Distancia de visibilidad de encuentro

### 3.2.2.1 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

Se considera como distancia de visibilidad de parada de un determinado punto de una carretera, la distancia necesaria para que el conductor de un vehículo que circula aproximadamente a la velocidad de diseño, pueda detenerlo antes de llegar a un obstáculo que aparezca en su trayectoria.

La longitud requerida para detener el vehículo en las anteriores condiciones será la suma de dos distancias: la distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción y la distancia recorrida durante el frenado.

La distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción (adoptado en 2.0 segundos para efectos de proyecto) se mide desde el momento en que se hace visible el obstáculo hasta el instante en que se aplican los frenos. En esta distancia se supone que el vehículo circula con movimiento uniforme a la velocidad de diseño.

La distancia de visibilidad de parada se calculará mediante la siguiente expresión:

$$D_p = 0.556 V_d + \frac{V_d^2}{254(f \pm \rho)} \quad \text{Ecuación N° 1.}$$

Donde:

$D_p$  = Distancia de visibilidad de parada, (m)

$V_d$  = Velocidad de diseño, (Km. /h)

$f$  = Coeficiente de fricción longitudinal llanta-pavimento

$\rho$  = Pendiente de la rasante (tanto por uno), + ascenso, - descenso



### 3.2.2.2 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

Se dice que un tramo de carretera tiene distancia de visibilidad de adelantamiento, cuando la distancia de visibilidad en ese tramo es suficiente para que, en condiciones de seguridad, el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro, que circula por el mismo carril a una velocidad menor, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra de adelantamiento.

Por razones de seguridad se supone que la maniobra de adelantamiento se realiza a la velocidad de diseño, y según lo anterior su distancia mínima deberá calcularse mediante la siguiente expresión:

$$D_a = 5 V_d \quad \text{Ecuación N° 2.}$$

Donde:

$D_a$  = Distancia de visibilidad de adelantamiento, (m)

$V_d$  = Velocidad de diseño, (Km. /h)

**TABLA 3 MÍNIMA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES DOS SENTIDOS**

Velocidad de diseño (Km/h)	Mínima distancia de adelantamiento (m)
30	150

Se deberá procurar obtener la máxima longitud posible en que la visibilidad de adelantamiento sea superior a la mínima de la tabla 3. Por lo tanto, como norma de diseño se debe proyectar, para carreteras de dos carriles dos sentidos, tramos con distancia de visibilidad de adelantamiento, de manera que en tramos de cinco kilómetros, se tengan varios subtramos de distancia mayor a la mínima especificada, de acuerdo a la velocidad de diseño.

En el establecimiento de estos tramos deberá tenerse en cuenta la topografía, la velocidad de diseño y el volumen de tránsito futuro o esperado en el año de diseño.



### **3.2.2.3 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ENCUENTRO**

En las carreteras terciarias de una calzada y sin diferenciación de carriles, la distancia de visibilidad de encuentro es la longitud mínima disponible de carretera, visible para los conductores que circulan en sentidos opuestos, obligados a llevar a cabo la maniobra para esquivarse.

Esta longitud debe ser lo suficientemente larga, para permitirle a los vehículos que viajan a la velocidad de diseño en sentidos contrarios, esquivarse y cruzarse con seguridad a una velocidad de 10 Km. /h.

## **3.3 ALINEAMIENTO HORIZONTAL**

### **3.3.1 ALINEAMIENTOS RECTOS Y CURVOS**

Para el tratamiento en este aspecto, teniendo en cuenta las recomendaciones del INVIAS, y las restricciones de la zona, el alineamiento se pegó en lo posible al ya establecido, tratando de rectificar algunos tramos, donde existían curvas susceptibles de ser modificadas mediante rectas o lugares en los cuales, una curva de radio amplio adoptase varias consecutivas.

### **3.3.2 ENTRETANGENCIAS**

Para curvas de distinto sentido se puede prescindir de tramos de entretangencia rectos. Si el alineamiento se hace con curvas circulares únicamente, la longitud de entretangencia debe satisfacer la mayor de las condiciones dadas por la longitud de transición, de acuerdo con los valores de pendiente mínima para rampa de peraltes y por espacio recorrido a la velocidad de diseño en un tiempo no menor de 5 segundos.

Las curvas del mismo sentido por su misma naturaleza, deben considerarse indeseables en cualquier proyecto de carreteras, por la inseguridad y disminución de la estética que representan. Para garantizar la comodidad y seguridad del usuario, la entretangencia para el diseño en terreno ondulado, montañoso y escarpado con espirales, no puede ser menor a 5 segundos y para diseños en terreno plano con arcos circulares, no menor a 15 segundos de la velocidad de diseño



Para el cálculo del valor de entretangencia es necesario utilizar la siguiente fórmula:

$$e = vt \quad \text{Ecuación N° 3}$$

Donde:

- e: Distancia, m.
- v: Velocidad, m/s.
- t: Tiempo, s.

Como la velocidad de diseño es de 30 Km. /h y el tiempo mínimo de recorrido según el INVIAS es de 5 segundos para curvas de distintos sentidos, por tal motivo si aplicamos la fórmula y despejamos la incógnita tenemos que la distancia mínima de entretangencia es de 41.60 metros.

En este proyecto, la distancia mínima no se pudo cumplir en su totalidad, debido a la limitante topográfica y ambiental.

### 3.3.3 PERALTE

Con base en la norma de tener un máximo valor del peralte de 0.08, por ser carretera rural.

Los elementos necesarios para dicho cálculo y que aparecen en esta ecuación serán descritos adelante.

$$e_{\max} + ft = \frac{Vd^2}{127R_{\min}} \quad \text{Ecuación N° 4.}$$

Donde:

- $e_{\max}$  = Peralte en metros por metro
- ft = Coeficiente de fricción lateral
- Vd = Velocidad del vehículo, (Km. /h)
- $R_{\min}$  = Radio mínimo de la curva, (m)

**TABLA 4 COEFICIENTES DE FRICCIÓN LATERAL**

Velocidad Específica (Km/hr)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Fricción Lateral	0.180	0.172	0.164	0.157	0.149	0.141	0.133	0.126	0.118	0.110	0.100	0.094	0.087



Para el proyecto el valor de este coeficiente para una velocidad de diseño de 30 K/m es de 0,180.

### TABLA 5 PERALTE ESPERADO

Radio	27.5	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
E+f	0.26	0.24	0.2	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08
eesperado	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02

Se considera que la fricción lateral aporta en la curva un 69% de la relación  $(V^2/127R)$  por tal motivo el porcentaje de peralte será del 31%. Se tomó como peralte mínimo del 2%.

### 3.3.4 RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS

Este parámetro no fue tenido en cuenta en algunos sectores en los cuales las dificultades topográficas y de impacto ambiental, hacían imposibles su cumplimiento. Se ajustó a él en donde fue posible hacerlo.

Para su cálculo utilizamos la siguiente ecuación:

$$R_m = \frac{V^2}{127(e_{\min} + f_{\max})} \text{ Ecuación N° 5}$$

Tomando los valores de fricción y peraltado escogidos anteriormente el resultado fue de: 27.26 metros.

## 3.4 ALINEAMIENTO VERTICAL

### 3.4.1 PENDIENTES

La inclinación de la línea de máxima pendiente en cualquier punto de la calzada no será menor que 0.5%; salvo justificación, no se proyectarán longitudes de rampas o pendientes cuya distancia de recorrido a la velocidad de diseño sea inferior a 10 segundos, dicha longitud se medirá entre vértices contiguos.





En la tabla 3.4.1 del manual del INVIAS tomamos la relación entre pendiente máxima y la velocidad de diseño.

**TABLA 6 RELACION ENTRE PENDIENTE MAXIMA (%) Y VELOCIDAD DE DISEÑO**

TIPO DE CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO Vd (Km./Hr)		
		30	40	50
Carretera terciaria	Plano	-	7	7
	Ondulado	11	11	10
	Montañoso	14	13	13
	Escarpado	16	15	14

Según la especificación del INVIAS se tiene una pendiente máxima del 14%.

### 3.4.2 CURVAS VERTICALES

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Deben dar por resultado una vía de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas. El punto común de una tangente y una curva vertical en el origen de ésta se representa como PCV y como PTV el punto común de la tangente y la curva al final de ésta. Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le denomina PIV, y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se le representa por la letra K.

Para una operación segura de los vehículos al circular sobre curvas verticales, especialmente si son convexas, deben obtenerse distancias de visibilidad adecuadas, como mínimo iguales a la de parada.

Debido a los efectos dinámicos, para que exista comodidad es necesario que la variación de pendiente sea gradual, situación que resulta más crítica en las curvas cóncavas, por actuar las fuerzas de gravedad y centrífuga en la misma dirección.

Debe también tenerse en cuenta el aspecto estético, puesto que las curvas demasiado cortas pueden llegar a dar la sensación de quiebre repentino, hecho que produce cierta incomodidad.



La curva vertical recomendada es la parábola cuadrática, cuyos elementos principales y expresiones matemáticas se explican claramente en el título 3.4.4.1 del manual del INVIAS.

Para el presente diseño tomamos como mínima longitud de curvas verticales 30m y procurando que si llegan a coincidir las abscisas de las curvas verticales y horizontales las primeras deberán desarrollarse en su totalidad dentro de las segundas.

En el anexo diseño geométrico se presentan las carteras de:

- Alineamiento Horizontal. (Anexo 1)
- Alineamiento Vertical. (Anexo 2)
- Transición de peraltes. (Anexo 3)
- Volúmenes de movimiento de tierra. (Anexo 4)

Los planos del diseño geométrico con todos los detalles se anexan en medio magnéticos así: Anexo 13, que contiene los planos 14 A, B, C Y D correspondientes al diseño geométrico en planta y perfil. Anexo 14 que contiene 37 planos correspondientes a las secciones transversales.



## 4 ESTUDIO GEOLÓGICO

### 4.1 COMENTARIOS GENERALES

Dentro de la zona se presenta un grupo de rocas variado en edad y composición, conformada por rocas ígneas y metamórficas plegadas y fracturadas, que datan del Paleozoico y están cubiertas por espesos depósitos del terciario y del cuaternario. Cuando se inicio la actividad de los cuellos volcánicos de la cordillera central, formando flujos de lava y de piroclastos, también se formaron flujos de lodo por actividad glacial de edad cuaternaria.

La zona está ubicada en la cordillera Central, con una orientación N-S, este sector se caracteriza por presentar intensos plegamientos, fallamientos y actividad volcánica a lo largo de los diferentes episodios orogénicos, lo que trae como resultado una geología compleja, que dificulta la interacción estructural y la estratigrafía entre sus unidades rocosas. Las principales fallas son la de Romeral - Aranzazu, Palestina, Manizales-Aranzazu, El Perro, San Jerónimo, Santa Rosa, Villamaría, Termales y la Oliva.

### 4.2 GEOLOGÍA

En el anexo 16, planos mapa geológico, se encuentran los planos 3 y 4 correspondientes a la geología de la zona de estudio.

En el anexo 20, plano perfil geotécnico, se muestra los estratos encontrados en la zona de estudio.

**TQa.** Flujos andesíticos de textura porfíricos y afaníticos color gris verdosos de alta dureza, presentan minerales de plagioclasa, piroxeno y anfíboles de edad Mioceno – pleistoceno. Se encuentran fracturadas y la dirección de la diaclasas es S70E/ 82 NE y N28E / 80 NW

**Qfl.** Depósitos compuestos principalmente por cenizas, arenas, fragmentos y bloques de rocas volcánicas. Arenas volcánicas bien seleccionadas con clastos de pómez, en el área corresponden a conglomerados matriz soportados de fábrica aleatoria mal seleccionados, los clastos varían de subangulares a angulares de



tamaños centimétricos a decimétricos; composicionalmente corresponden a lavas afaníticas y porfiríticas, estos depósitos son medianamente consolidados. La matriz es de arena media color café-amarillento compuesta por pómez, líticos volcánicos, cuarzo, micas y óxidos.

**Qg.** Depósitos recientes detríticos formados por acción glaciario reciente, están constituidos por capas de arena fina a media de tonos grises de composición sublítica con aporte volcánico, presenta laminación plana paralela y son medianamente cohesivos.

**Qto.** Cenizas, tobas con estructuras de flujo y tefras, representados por depósitos de caída piroclástica, formados por niveles de ceniza y pómez, interstratificados.

Los niveles de ceniza son color gris y varían de tamaño fino hasta grueso compuestas por cuarzo, plagioclasa líticos y micas. Los niveles de pómez son color amarillo tamaño lapilli, compuestos por fragmentos rotos de escorias y rocas volcánicas.

### 4.3 GEOMORFOLOGÍA

Se caracteriza por presentar un relieve montañoso glaciario, glaciovolcánico, estructuralmente erosional y fluvioerosional.

#### VALLE GLACIAR

Corresponde a un valle en forma de “U” abierta muy amplio de laderas cóncavas el cual presenta un patrón de drenaje de tipo erosivo sub-dendrítico de alta incisión y baja disección (Figura 1).



**Figura 1. Valle glaciar**

### **FRENTES DE LAVA**

Esta unidad está representada por taludes verticales de elevaciones media, con aspecto columnar los cuales generan un paisaje escarpado.

### **LADERAS ONDULADAS**

Litológicamente se asocia con depósitos de (Qfl) presentan superficie ondulada de topografía rugosa con laderas cortas, posee un patrón de drenaje sub-dendrítico de moderada incisión (Figura 2).



**Figura 2. Formas redondeadas por cobertura de cenizas**



#### 4.4 FORMACIONES SUPERFICIALES

**Qcp.** Estos depósitos representan la actividad volcánica explosiva reciente del complejo volcánico Ruiz-Tolima, se presentan en forma de mantos delgados cubriendo las demás litologías y suavizando la topografía, son compuestos por intercalaciones de niveles de cenizas y niveles de pómez con fragmentos de escóreas y rocas volcánicas (Figura 3).

En el anexo 15, planos formaciones superficiales, se encuentran los planos 1 y 2 correspondientes a las formaciones superficiales de la zona de estudio.



**Figura 3. Cenizas y Paleosuelo**

#### 4.5 USO DEL SUELO

##### PASTOS DE PÁRAMOS

**Pasto Herbáceo.** Se encuentran ubicados a lo largo de la vía, estos pastos son utilizados para la ganadería extensiva de ganado de leche; los efectos naturales como el clima húmedo y artificiales como lo es el sobrepastoreo genera la degradación del la estructura del suelo favoreciendo la formación de terracetos.

**Pasto arbustivo.** Estos pastos se encuentran con especies de árboles de hojas muy pequeñas en las partes altas de la montaña, que se desarrollan en condiciones de frío y alta irradiación, con ciclos diurnos de extremas temperaturas.



## CONSTRUCCIONES

**Rural.** Las construcciones en la zona son escasas encontrándose una sola vivienda localizada en inicio del estudio al borde de la vía.

En el anexo 18, Planos mapa usos del suelo, se encuentran los planos 7 y 8 correspondientes a los usos del suelo encontrados en la zona de estudio.

## 4.6 PROCESOS EROSIVOS

### PROCESOS DE EROSIÓN SUPERFICIAL

**Terracetos de ganado.** La compactación resultante del tránsito de los animales afecta en forma negativa el flujo del agua a través del perfil y la estabilidad estructural, como consecuencia de esto se forman estructuras escalonadas conocidas como terracetos de ganado que en la zona se encuentran localizadas en las áreas de pastos cercanas a la vía.

### PROCESOS DE EROSIÓN PROFUNDA O MOVIMIENTO DE MASA

**Deslizamientos.** Un movimiento de masa puede ser definido como todo desplazamiento hacia abajo vertical o inclinado en dirección del pie de una ladera de un volumen de material litológico importante, en el cual el principal agente es la gravedad (VARGAS, 1999) (Figura 4 (a) y (b), Tabla 7 y



Figura 4. Deslizamiento 1. Rotacional (a) - Caída de roca. Proceso erosivo 4 (b)



**TABLA 7 Lista de chequeo para caracterización de procesos erosivos CORPOCALDAS, (2002).**

Fecha	Localización	Clima: Soleado ( ) Lluvioso ( )	Fecha de ocurrencia del evento				
1. TIPO	4. MATERIAL	9. VARIABLE DETERMINANTE DE LA INESTABILIDAD	10. HIDROLOGIA		17. MORFOMETRIA	23. RECOMENDACIONES	
			10a. Contenido de agua de los materiales	10b. Altura del nivel freático			
0. Desconocido	1. Suelo orgánico	0. Desconocido	0. Desconocido	A. Normal	B. Nivel de carga y descarga	1. Longitud	1. Evacuación
1. Deslizamiento	2. Suelo residual	1. Pérdida de soporte lateral natural	1. Seco	0. Desconocido	0. Desconocido	2. Amplitud: a. Corona, b. En la mitad del cuerpo, c. Base del cuerpo	2. Demolición
2. Caída-desprendimiento	3. Secuencia piroclástica	2. Pérdida de soporte en la base	2. Húmedo	1. Por encima de la corona	1. Por encima de la corona	3. Profundidad	3. Recubrir con plásticos áreas afectadas (corona)
3. Flujo	4. Rocas metamórficas	3. Pérdida de soporte en la base por socavación	3. Mojado	2. Por debajo de la corona	2. Por debajo de la corona	4. Az/Buz	4. Sellamiento de grietas
4. Volcamiento	5. Rocas sedimentarias	4. Sobresaturación por lluvia	4. Empozado	3. En la corona	3. En la corona	5. Altura del escarpe principal	5. Reparación de acueducto
5. Reptación	6. Rocas volcánicas	5. Presión lateral	5. Escurrimiento	4. En el cuerpo	4. En el cuerpo	6. Altura del escarpe lateral	6. Reparación de alcantarillado
6. Sagging	7. Rocas intrusivas	6. Esfuerzo o vibración temporal (sismo)	6. Flujo	5. En la base del cuerpo	5. En la base del cuerpo	7. Material infrayacente al superficie de ruptura	7. Revisión de acueducto y/o alcantarillado
7. Subsistencia	8. Rocas cataclásticas	7. Elevación del NAF (Nivel de aguas freáticas)	<b>11. SUELO RURAL</b>		<b>13. TIPO DE VEGETACIÓN</b>	8. Volumen	8. Desvío temporal de aguas lluvias
8. Avalancha	9. Dep. coluviales	8. Humedad y secamiento	1. Agrícola	1. Sin vegetación área improductiva	1. Sin vegetación área improductiva	9. Posición en la ladera: a. Baja, b. Media, c. Alta	9. Limpiezas de obras
9. Complejo	10. Dep. aluviales	9. Mal manejo de aguas lluvias y escurrimiento	2. Pecuario	2. Vegetación rastrera (pastos)	2. Vegetación rastrera (pastos)	<b>19. GRIETAS</b>	10. Captación de afloramiento de aguas
10. Propagación lateral	11. Dep. glaciares	10. Sobrecarga en la corona	3. Industrial	3. Rastrojo bajo (menor 0,4m) Brinzal	3. Rastrojo bajo (menor 0,4m) Brinzal	0. Desconocido	11. Monitoreo visual
11. Terracetas	12. Rellenos	11. Remolde del suelo	4. Minero	4. Rastrojo medio (0,4) Latizal	4. Rastrojo medio (0,4) Latizal	1. Sobre la corona	12. Perfilado del talud
12. Socavación de orillas	13. Dep. fluvio-volcánicos	12. Cambio del uso del suelo	5. Forestal	5. Rastrojo bajo (mayor de 1,0) Fustal	5. Rastrojo bajo (mayor de 1,0) Fustal	2. Sobre los escarpes laterales	13. Evitar remover materiales en la base
<b>2.SUBTIPO</b>	14. Otros	13. Tipo de cobertura vegetal	6. Recreacional	6. Cultivos permanente (café, plátanos, cítricos, etc)	6. Cultivos permanente (café, plátanos, cítricos, etc)	3. En el cuerpo transversales	14. Construir drenes en zanja
0. Desconocido	<b>5. TALUD O LADERA</b>	14. Defectos en el sistema de acueducto y alcantarillado	7. Agroforestal	7. Cultivos transitorios (frijol, maíz, tomates, etc)	7. Cultivos transitorios (frijol, maíz, tomates, etc)	4. En el cuerpo longitudinales	15. Construir drenes sub-horizontales
1. Rotacional	0. Desconocido	15. Deficiencia en el control y entrega de aguas lluvias	8. Condominios	8. Bosque productor	8. Bosque productor	<b>20. FORMAS DE LAS GRIETAS</b>	16. Construir acequias
2. Traslacional	1. Natural	16. Disposición inadecuada de residuos sólidos	9. Suburbano	9. Bosque protector	9. Bosque protector	1. Continuas	17. Construir cunetas
3. Diédrico	2. Antrópico	17. Materiales cizallados, fracturados, meteorizados o sensibles	10. Ganadero	<b>14. CARACTERISTICAS DE LA VEGETACIÓN</b>		2. Discontinuas	18. Construir zanjas colectoras
4. Compuesto	3. Ambos	18. Discontinuidad a favor de la pendiente	<b>12. EROSIÓN SUPERFICIAL AL INTERIOR DEL MOVIMIENTO</b>		<b>15. DRENAJE</b>	<b>21. MEDIDAS DE TRATAMIENTO EXISTENTES</b>	19. Construir canales de bajada
5. Lahar	<b>6. PROFUNDIDAD</b>	19. Angulo de la pendiente	0. Desconocido	0. Desordenada, parcialmente muerta	0. Desordenada	1. Terrazas	20. Señalizar
6. Flujo de lodo	0. Desconocido	20. Longitud de la pendiente	1. Erosión laminar	1. Sin ella en la pendiente	1. Sin ella en la pendiente	2. Canales	21. Descopar árboles (previa solicitud permiso)
7. Flujo de escombros	1. Superficial	21. Cambio de permeabilidad	2. Erosión en surcos	2. Baja densidad	2. Baja densidad	3. Muros de contención	22. Erradicar árboles (Previo solicitud permiso)
8. Solifluxión	2. Profundo	22. Sobrecarga de material sólido en corrientes hídricas	3. Erosión en cárcavas	3. Contraste en y fuera del deslizamiento	3. Contraste en y fuera del deslizamiento	4. Zanjas colectoras	23. Aprovechamiento forestal (Previo permiso)
<b>3. ACTIVIDAD</b>	<b>7. ESCARPE</b>	23. Minería	4. Pipas o tubificaciones	4. Cambios por el drenaje	4. Cambios por el drenaje	5. Box culvert y/o transversales	24. Destapar cauce represado
0. Desconocido	0. Desconocido	24. Cambios de permeabilidad	5. Ravines	<b>15. DRENAJE</b>	<b>15. DRENAJE</b>	6. Otros	25. Construir barreras de protección
1. Activo	1. Principal	25. Cambios litológicos	6. Terracetas	0. Desordenada	0. Desordenada	7. Ninguno	26. Estudio geológico-geotécnico
2. Inactivo	2. Lateral		7. Tierras malas	1. Anómalo	1. Anómalo	<b>22. PENDIENTES MORFOLOGICAS</b>	27. Instrumentación topográfica
<b>8. CUERPO</b>	3. Ambos		8. Caminos de ganado	2. Acumulación de aguas	2. Acumulación de aguas	0. Desconocida	28. Instrumentación geotécnica
0. Desconocido	4. Múltiple		9. Antrópico	3. Fuentes	3. Fuentes	1. Cóncava	29. Reubicación viviendas
1. Existente			10. Socavamiento de fondos lateral	4. Excesivo drenaje	4. Excesivo drenaje	2. Convexa	30. Revegetalización
2. Inexistente						3. Recta	31. Reforestación
						4. Nichos	32. Obras bio-ingenieriles
						5. Escalonadas	33. Obras de contención
						6. Bloques rotados	34. Canalización abierta
							35. Canalización cerrada
							36. Barras transversales (diques)
							37. Construir pavimento
							38. Construir peatonal
							39. Construir transversal
							40. Otras
		<b>24. ESQUEMA</b>				<b>25. PERFIL INTERPRETATIVO</b>	





#### 4.7 MORFOMETRÍA

Para el análisis de la pendiente se eligieron cinco rangos aunque en esta zona solo se encuentra 3 zonas de pendiente. (Tabla 8)

**TABLA 8 Clasificación de pendientes.**

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PENDIENTES (Porcentaje)</b>
MUY BAJA	0-25 %
BAJA	25-50%
MODERADA	50-75%
ALTA	75-100%
MUY ALTA	>100%

##### **ZONAS CON PENDIENTES MUY BAJAS (0–25%)**

Corresponden a terrenos planos asociadas con el fondo del antiguo valle glaciar, no se observan procesos denudativos, esta zona se caracteriza por un alto grado de estabilidad.

##### **ZONAS CON PENDIENTES BAJAS (25–50%)**

Zonas onduladas con taludes de poca elevación < de 2 mts. Los procesos erosivos asociados corresponden a terracetos de ganado.

##### **ZONAS CON PENDIENTES MUY ALTAS (> 100%)**

Taludes verticales de origen antrópico y natural dados por frentes de lava y corte de la carretera, presenta procesos de erosión profunda asociados a materiales inconsolidados y a la limitada cobertura vegetal de dichos taludes.

En el anexo 17, Planos de pendientes, se encuentran los planos 5 y 6 correspondientes a las pendientes encontradas en la zona de estudio.



## 5 ESTUDIO GEOTECNICO

### 5.1 Prospección Geotécnica

Sobre el tramo de vía estudiado se realizaron una serie de perforaciones con el fin de caracterizar los materiales superficiales de la zona. Las perforaciones fueron realizadas por sistema manual hasta que alcanzaran los basamentos rocosos, que en la zona se encuentran superficialmente. De cada perforación fueron extraídas muestras para realizar los siguientes ensayos de laboratorio:

- Granulometría por lavado.
- Límites de Atterberg.
- Límite Líquido
- Límite Plástico
- Humedad Natural.
- Peso unitario húmedo.
- Peso unitario seco.

Los demás parámetros serán tomados de la literatura mediante correlaciones empíricas.

### 5.2 Descripción de las perforaciones

El perfil característico encontrado a lo largo de las perforaciones varía de acuerdo al tipo de material presente en cada uno de los tramos del corredor vial, debido a que como se puede apreciar en el informe Geológico, en la zona de estudio se detectó como formación superficial predominante el depósito de Caída piroclástica, el cual está formado principalmente por arenas limosas con intercalaciones de lapilli y pómez. A continuación se presenta el perfil característico detectado a lo largo del corredor vial:

Material heterogéneo de textura limo arcillosa y limo arenosa color pardo oscuro proveniente de antiguas explanaciones sobre la parte alta de ladera con espesor promedio de 0.3 m.

Superados los depósitos heterogéneos se encuentran los depósitos de caída piroclástica formados por intercalaciones de limos Arenosos y mantos de lapilli



color pardo oscuro y gris amarillento, con un espesor que varía desde unos cuantos centímetros hasta 3 metros, dependiendo de la topografía de la zona.

Una vez superado este material se aprecian las rocas parentales de origen ígneo, tipo porfíricas descritas ampliamente en el informe geológico.

Como puede apreciarse el espesor de suelo que cubre las rocas parentales es relativamente pequeño (menor a 3 m), este factor hace que el mecanismo de falla predominante en la zona sean los deslizamientos translacionales. Este factor será analizado con detalle en el análisis de estabilidad.

Cada una de las perforaciones se describe en el anexo 6. En el anexo 20, plano perfil geotécnico, se muestra los estratos encontrados en la zona de estudio.

### **5.3 Características Geotécnicas de los Materiales**

#### **5.3.1 Carta de Plasticidad**

Las muestras ensayadas presentan las siguientes características:

- Suelos de Caída Piroclástica
- Textura limo arcillosa y limo arenosa
- Color característico pardo oscuro y gris, en algunos sectores se aprecian óxidos de hierro color marrón.

En la carta de plasticidad se clasifica como SM (arenas limosas).

#### **5.3.2 Pasante del tamiz 200**

##### **Suelos de Caída Piroclástica**

Superior al 17.48 % indicando que la fracción gruesa predomina en estos materiales de textura arcillosa pertenecientes a este grupo.



### **5.3.3 Limite Líquido**

#### **Suelos de Caída Piroclástica**

En estos materiales el límite líquido presenta valores promedio de 50.7 %. Este valor indica que los materiales presentan una plasticidad media alta. El rango de variación es amplio y está comprendido entre el 28% y 85.8%.

### **5.3.4 Humedad Natural**

#### **Suelos de Caída Piroclástica**

El valor promedio es 40.6 %; este valor indica que los materiales presentan una humedad media.

### **5.3.5 Índice de plasticidad**

#### **Suelos de Caída Piroclástica**

Los valores encontrados son superiores al 7.8%. Con este valor se considera que el potencial de expansión es bajo.

### **5.3.6 Peso Unitario**

#### **Suelos de Caída Piroclástica**

El valor promedio para estos materiales es 1,80 Ton/m<sup>3</sup>.

### **5.3.7 Angulo de Fricción**

#### **Suelos de Caída Piroclástica**

34 Grados; este valor de ángulo de fricción se considera alto para los suelos de la región.



### **5.3.8 Cohesión**

#### **Suelos de Caída Piroclástica**

El valor de esta propiedad es de 1,9 Ton/m<sup>2</sup>, este valor se considera bajo. Para el análisis de estabilidad el valor de esta propiedad debe ser tomado con precaución.

### **5.3.9 Resistencia a la Compresión Inconfinada**

#### **Suelos de Caída Piroclástica**

El valor de esta propiedad es de 10 Ton/m<sup>2</sup>, valor considerado alto y siendo un indicativo de la buena consistencia de los materiales, que favorece de manera determinante en la capacidad admisible de los suelos en lo que tiene que ver con fundaciones de estructuras.

## **5.4 Ensayos de Laboratorio y Campo**

En el anexo 6 de ensayos de laboratorio se presentan cada uno de los ensayos realizados para la caracterización geotécnica de los materiales detectados en la zona de estudio.

Los ensayos de campo se realizaron para caracterizar la rasante de la vía, en el diseño del pavimento se hace una descripción detallada de este tipo de ensayos.



## 6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS

Para el análisis de estabilidad se hicieron las siguientes consideraciones:

Por medio de observaciones de campo, datos tomados en las perforaciones y la estratificación de la roca, se puede determinar que el tipo de deslizamiento que se presenta en la zona con mayor frecuencia es el traslacional.

Para el análisis de falla traslacional se empleará el método Duncan y Buchignani, debido a que este simula apropiadamente el fenómeno de inestabilidad. La fórmula empleada para el cálculo del factor de seguridad es la siguiente:

$$FS = A \times (\tan(\phi) / \tan(\beta)) + B \times (c / (PUT \times z))$$

Donde:

FS = Factor de Seguridad

A = Parámetro función de las condiciones de agua

B = Parámetro función de la inclinación del talud

$\Phi$  = Angulo de Fricción

$\beta$  = Angulo de inclinación de la superficie de falla

C = Cohesión de la superficie de contacto

PUT = Peso unitario del suelo

z = Espesor del depósito con potencialidad de deslizarse.

Para este análisis se estudiaron las siguientes condiciones:

- Sin Agua y Sin Sismo.
- Sin Agua y Con Sismo.
- Con Agua y Sin Sismo.
- Con Agua y Con Sismo.

Los parámetros utilizados para el análisis de estabilidad fueron los valores sensiblemente inferiores al promedio de las propiedades de cada uno de los suelos involucrados encontradas en los ensayos, debido al tipo de ensayo de corte (No consolidado No drenado)

El parámetro de presión de poros se calculó en función de la forma como aflora el agua sobre la cara del talud mediante la siguiente expresión:

$$r_u = (PUW/PUT) \times (1 / (1 + \tan(\beta) \times \tan(\theta)))$$



Donde:

$r_u$  = Parámetro de presión de poros

PUW = Peso unitario del agua

PUT = Peso unitario del suelo

$\beta$  = Inclinación del plano correspondiente a la superficie de falla.

$\theta$  = Angulo que tienen las líneas de flujo con respecto a la horizontal si el flujo va hacia la cara del talud.

La aceleración sísmica utilizada para el análisis es de 250 gals. Con este valor se puede calcular el coeficiente de aceleración.

$$A_h = (A_c/g)$$

Donde:

$A_h$  = Coeficiente de Aceleración Sísmica

$A_c$  = Aceleración del sismo promedio de la región

$g$  = Aceleración de gravedad

Los resultados de los análisis se presentan en los cuadros y figuras en el anexo 6.

## 6.1 Resultados del análisis de estabilidad

Debido a que las características de las formaciones superficiales son homogéneas en el área de influencia del proyecto (hasta el punto más exterior de los cortes), el análisis de estabilidad tiene validez tanto para los taludes naturales como para los taludes antrópicos.

De los cuadros y gráficos FS se pueden sacar las siguientes conclusiones:

### 6.1.1 Espesor del depósito potencialmente inestable 2 m:

#### 6.1.1.1 No Agua No Sismo

Los factores de seguridad son superiores a la unidad para todas las inclinaciones analizadas. El menor valor se presenta para inclinaciones de 60 grados



#### **6.1.1.2 No Agua y Si Sismo**

Los factores de seguridad son superiores a la unidad para todas las inclinaciones analizadas. El menor valor se presenta para inclinaciones de 60 grados.

#### **6.1.1.3 Si Agua y No Sismo**

Los factores de seguridad son superiores a la unidad para todas las inclinaciones analizadas. El menor valor se presenta para inclinaciones de 60 grados.

#### **6.1.1.4 Si Agua y Si Sismo**

Los factores de seguridad son superiores a la unidad para todas las inclinaciones analizadas. El menor valor se presenta para inclinaciones de 50 grados.

### **6.1.2 Espesor del depósito potencialmente inestable 3 m.**

#### **6.1.2.1 No Agua No Sismo**

Los factores de seguridad son superiores a la unidad para todas las inclinaciones analizadas. El menor valor se presenta para inclinaciones de 50 grados

#### **6.1.2.2 No Agua y Si Sismo**

Los factores de seguridad son superiores a la unidad para todas las inclinaciones analizadas. El menor valor se presenta para inclinaciones de 50 grados.

#### **6.1.2.3 Si Agua y No Sismo**

Los factores de seguridad son superiores a la unidad para todas las inclinaciones analizadas. El menor valor se presenta para inclinaciones de 50 grados.





#### **6.1.2.4 Si Agua y Si Sismo**

La máxima inclinación para esta combinación es de 45 grados.

Como se ha venido diciendo durante el documento los deslizamientos presentados son menores y no producen gran afectación sobre la vía.

### **6.2 Obras Geotécnicas Especiales**

Las obras geotécnicas especiales proponen en los sitios donde se observan fenómenos de inestabilidad ya sean deslizamientos, socavamiento de orillas o cicatrices de antiguos deslizamientos que se encuentran inactivos o estabilizados parcialmente y que representen amenaza al corredor. En la identificación de los procesos erosivos se detectaron un numero mayor, pero algunos de ellos no afectan el corredor directamente. A continuación se presenta un listado del tipo de obras que deben ser construidas en cada sitio crítico estudiado:

#### **6.2.1 Abscisa K21 + 970**

- Trinchos en guadua
- Abancalamiento
- Perfilamiento de negativos
- Revegetalización con especies nativas.

#### **6.2.2 Abscisa K21 + 200**

- Trinchos en guadua
- Abancalamiento
- Perfilamiento de negativos
- Revegetalización con especies nativas.

#### **6.2.3 Abscisa K20 + 120**

- Trinchos en guadua
- Abancalamiento
- Perfilamiento de negativos
- Revegetalización con especies nativas.



Todas las obras geotécnicas propuestas para este tramo corresponden a lo que se denomina obras menores debido a que ninguno de los fenómenos de inestabilidad reviste mayores implicaciones.

Las obras propuestas en los sitios inestables, deben estar acompañadas de otro tipo de obras complementarias dentro del corredor vial tales como:

- Construcción de cunetas.
- Construcción de filtros por la parte interna de la banca.
- Limpieza de transversales
- Mejoramiento de descoles mediante enrocados de entrega.



## 7 RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS GENERALES

En lo que tiene que ver con la intervención de los taludes en el momento de la rectificación de la vía se tienen los siguientes comentarios:

- Para taludes en depósitos de lluvia piroclástica con inclinaciones superiores a 35 grados que vayan a ser intervenidos, se recomienda un abancalamiento cada 10 metros máximo, debido a que una altura mayor se considera crítica.
- Para todo tipo de taludes se requiere la revegetalización inmediata una vez sean intervenidos en la rectificación. La revegetalización debe realizarse con especies nativas de rastrojo de porte bajo.
- Como corte típico sobre los taludes se recomienda una inclinación de 60 grados, sin embargo los cortes deben ser controlados y en sitios donde se presente signos de inestabilidad debe consultarse la opinión de un especialista.
- En lo que tiene que ver con los filtros longitudinales sobre la vía se recomienda que sean construidos en toda su extensión, debido a que los afloramientos sobre la base de los taludes es muy generalizada en el tramo de diseño.
- Además las obras de manejo de aguas subsuperficiales (filtros), se deben construir otra serie de obras tales como cunetas a lo largo de la vía y transversales cada 80 metros como máximo con sus respectivos descoles los cuales deben ser construidos apropiadamente con el fin de no originar inestabilidad sobre los taludes de la parte alta de la banca.
- En términos generales la vía no presenta fenómenos generalizados de inestabilidad, sin embargo si presenta unos pocos deslizamientos planares en las laderas identificados (inventario detallado de los fenómenos de inestabilidad) en numerales anteriores. Para este tipo de fenómenos se plantean una serie de obras puntuales.



## 8 HIDROLOGIA

El área de estudio se localiza en el parque Nacional de los Nevados, a una altura de 3500 msnm. La zona corresponde a un relieve montañoso, donde predominan los pastos; los efectos naturales como el clima húmedo y artificiales como lo es el sobrepastoreo genera la degradación de la estructura del suelo favoreciendo la formación de terracetos y procesos erosivos.

El clima se desarrolla en condiciones de frío y alta irradiación, con ciclos diurnos de extremas temperaturas, comprende bosque andino caracterizado por vientos fuertes, alta nubosidad, nieblas frecuentes y sistemas de aguas termales sulfatadas y alcalinas.

Se encuentra un sistema de aguas termales ubicadas entre los 2600 y 3500 msnm; las aguas sulfatadas y alcalinas han permitido la construcción de infraestructura para el aprovechamiento turístico de las aguas termales como termales del Ruiz. Estas aguas han sido utilizadas por la empresa Aguas de Manizales como floculante en el sistema de tratamiento de potabilización de agua para consumo humano. Adicionalmente la zona presenta un bosque andino, caracterizado por vientos fuertes, alta nubosidad, nieblas frecuentes.

La zona de estudio se presenta dentro de una de las grandes reservas de agua para el sostenimiento de más de 3.000.000 de personas de los departamentos de Risaralda – Tolima – Quindío y Caldas. Se considera uno de los ecosistemas estratégicos más significativos de Colombia.

### 8.1 Temperatura:

El rango promedio de temperatura oscila entre los 4 y 14 grados.

### 8.2 Precipitación promedio:

La precipitación promedio anual en la zona es de 2000 a 2500 mm.

En la zona de estudio se observan una serie de líneas de drenaje que hacen parte de la Cuenca del Ríoclaro, sin embargo debido a que no se cuenta con registro cartográfico con escalas detalladas, el análisis de caudales para las microcuencas



no puede realizarse detalladamente, por tal motivo el presente informe es de carácter general y se limita al chequeo de las obras necesarias para garantizar un apropiado manejo de las aguas de escorrentía sobre el corredor vial.

### **8.3 Humedales:**

Predominan los humedales de páramo tipo laguna y turbera; se destaca la laguna Negra (nacimiento río Chinchiná). Estos humedales son elementos importantes del ciclo hidrológico regional ya que influyen directamente sobre las condiciones climatológicas del área sobre la cual están localizados

### **8.4 Cuencas dentro de la zona de estudio:**

A continuación se hace una descripción de las cuencas involucradas en el proyecto.

#### **8.4.1 Cuenca del Ríoclaro**

Nace en los arenales del Nevado Santa Isabel a 4400 msnm, en una zona de características de páramo. Presenta áreas boscosas protectoras, recibe las aguas de la quebrada Nereidas a 2300 msnm, originada del deshielo del glaciar Nereidas a los 5000 msnm y la quebrada molinos a los 1900 msnm,

Las dos quebradas se integran en una sola corriente denominada Rioclaro que confluye en el río Chinchiná.

#### **8.4.2 Cuenca del río Chinchiná**

Esta cuenca abarca la región central del departamento de Caldas, con un área de 113.263 Ha que comprende parte del territorio de los municipios de Manizales, Neira, Villamaría, Chinchiná, Palestina.

Su principal fuente hídrica es el río Chinchiná que nace a una altura de 3600 msnm en la laguna la negra localizada en el páramo de letras, en inmediaciones de los municipios de Manizales (Vereda la Esperanza) y Villamaría (Vereda Frailes), corre en sentido este oeste, posteriormente en la parte oeste del



municipio de Manizales cambia su dirección al norte, para entregar sus aguas al río Cauca a una altura de 800 msnm en la hacienda el Retiro municipio de Palestina; entre sus principales afluentes se encuentran las quebradas el Mangón, la Zulia, la Maria, California, Chupaderos, Chupaderitos, el Perro, Manizales, río Claro, El Rosario, Manzanares, Purgatorio y el río Guacaica.

#### **8.4.3 Microcuencas de la zona de estudio**

Se encuentra interceptando la vía en diferentes puntos, las cuales la salvan por medio de Pontones, alcantarillas de cajón o simplemente la atraviesan, corresponden a corrientes menores por el caudal que transita por ellas.

El estado general de estas obras para el manejo de agua es regular debido al mantenimiento que se les hace y las condiciones climatológicas de la zona de estudio.

Como se dijo anteriormente estas microcuencas no pueden ser analizadas debido a que no se cuenta con topografía en detalle. Para estas microcuencas se presenta el anexo 7 de chequeo de las obras hidráulicas se puede observar los caudales de estas líneas de drenaje y la capacidad hidráulica de las estructuras que atraviesan. En el anexo 19, se muestran los planos 9 y 10, correspondientes a la ubicación de las obras de drenaje y contención. En el anexo 21, se muestra el plano 21 correspondiente a los detalles constructivos de las anteriormente señaladas.

#### **8.5 Aprovechamiento fuentes hídricas:**

La cuenca del río Chinchiná es la mas aprovechada para fines de agua potable se estima que el caudal tomado de este cuerpo de agua con estos fines es de aproximadamente 1300 lts/seg.

En cuanto al aprovechamiento con fines hidroeléctricos la CHEC capta las aguas de esta cuenca para abastecer sus centrales produciendo unos 4.7 MW en las centrales Municipal, Intermedia y Sancancio.



## **9 DISEÑO DEL PAVIMENTO**

### **9.1 Parámetros y Factores de Diseño**

#### **9.1.1 Análisis de Tránsito**

Los métodos usuales para el diseño de pavimentos asfálticos para vías de tránsito bajo y medio, consideran esta variable en términos de repeticiones de ejes patrones de diseño, generalmente ejes sencillos de 8.2 Toneladas, cuya valoración exige el conocimiento de la magnitud de las cargas pesadas circulantes, a efectos de establecer su respectiva equivalencia con el eje patrón de diseño.

#### **9.1.2 Serie histórica**

Dadas las características geográficas del tramo en estudio, durante la recopilación de la información no se hallaron datos de conteo del sector, pero se encontró una serie histórica a partir del año de 1988 al 2002, publicada por el Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías con la estación de conteo 442 que toma en cuenta los vehículos que circulan en el sector comprendido entre el Puente de la Libertad y La Esperanza; en ese orden de ideas se estimó un valor del 2% del TPDs de la estación, que no deja de ser alto y conservador, pero que nos puede dar una aproximación cercana al tránsito que circula en temporada alta de turismo. Con la información obtenida ( $TPDs = 1346 \times 2\% = 27$  veh/día en el año 2002) se proyectó el número de ejes equivalentes para el período de diseño de la estructura (numeral 9.1.3); el análisis del tránsito para el carril de diseño se aprecia en el numeral 9.1.4.

#### **9.1.3 Período de Diseño**

Según el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito, de acuerdo al TPD del año 2004 (estimado en la tabla 9 con un TPDs de 29 veh/día), el tramo vial en estudio, presenta la siguiente categoría:



**TABLA 9 Categoría de la Vía**

	<b>III</b>
<b>Descripción</b>	Caminos rurales con tránsito mediano, caminos estratégicos
<b>Importancia</b>	Medianamente Importante
<b>Tránsito Promedio Diario</b>	< 1.000

Dado que el tramo vial en estudio se ubica dentro de la categoría III, el manual recomienda un período de diseño estructural en un rango de 10 a 20 años, por lo que se buscará calcular una estructura de pavimento necesaria para un período de servicio mínimo a 10 años.

**9.1.4 Proyección del Volumen de Tránsito Futuro al Año base o de puesta de servicio el Pavimento**

Los volúmenes de tránsito actual están compuestos del Tránsito Existente (TE) y el Tránsito Atraído (TAt).

$$TA = TE + TAt$$

El tránsito existente es el que se moviliza en la vía en condiciones normales de operación y cuando no se ha efectuado ningún tipo de mejora o rehabilitación vial.

El tránsito atraído se considera siempre y cuando se realice una mejora a la vía en estudio. Como a la fecha no se ha llevado a cabo ninguna mejora completa, el tránsito atraído se considera igual a cero.

Para determinar el tránsito actual, se tomó la base histórica mencionada y calculada en la tabla 10.

El tránsito promedio diario (TPDs) que se obtuvo fue de 29 vehículos/día, distribuidos de la siguiente manera:

- Vehículos pesados (B + C) = 15, correspondientes a un 50%
- Vehículos livianos (A) = 14, correspondientes a un 48%.





La duración de la ejecución del proyecto es de menos de un año y como tal su proyección se efectuará a ese mismo tiempo. A partir de este momento, el tránsito atraído aparece y se debe tener en cuenta. Se tiene que:

$$TF = TA + ITE$$

donde:

$$TA = TE + TAt$$

$$ITE = CNT + TD + TG$$

Por lo tanto:

$$TF = TE + TAt + CNT + TD + TG$$

donde:

- TF = tránsito futuro
- TA = tránsito actual
- ITE = incremento del tránsito esperado
- TE = tránsito existente estimado = 29 vehículos/día
- TAt = tránsito atraído
- CNT = crecimiento normal del tránsito
- TD = tránsito desarrollado
- TG = tránsito generado

Como se realizará una modificación o mejoramiento de la vía, el tránsito atraído si aparece. Las consideraciones que se hicieron fueron las siguientes:

$$TAt = TE \times (\% \text{ de condiciones locales} + \% \text{ alternabilidad vial})$$

Condiciones locales (5%): se tomó el cinco por ciento del tránsito existente que se supone crecerá por el movimiento generado por los sectores aledaños.

$$TE \times 0.05 = 29 \times 0.05 = 2 \text{ vehículos/día}$$

Alternabilidad vial (3%): después de que se efectúen las obras de mejoramiento o pavimentación de este tramo de vía, se puede incentivar una futura pavimentación de toda la vía y convertirse en una alternativa de viaje debido a las mejoras en tiempos de viaje.

$$TE \times 0.03 = 29 \times 0.03 = 1 \text{ vehículos/día}$$



Luego:

$$TAt = 2 + 1 = 3 \text{ vehículos/día}$$

$$TA = TE + TAt = 29 + 3 = 32 \text{ vehículos/día}$$

Por la base histórica de los conteos de la estación 442, se tomó un crecimiento vehicular de esta zona del orden del 3%.

$$CNT = TE \times 0.03 = 29 \times 0.03 = 1 \text{ vehículos/día}$$

El tránsito desarrollado (TD) se estableció en un 5% basándose en el incremento generado por el desarrollo económico de la región y las mejoras del suelo aledaño al tramo a mejorar. La experiencia indica que en carreteras construidas con buenas especificaciones, la tierra aledaña tiende a desarrollarse más rápidamente de lo normal. El tránsito adicional desarrollado será:

$$TD = TE \times 0.05 = 29 \times 0.05 = 2 \text{ vehículos/día}$$

El tránsito generado (TG) es la sumatoria de los viajes distintos al servicio público que se generarían con la mejora de la vía, teniendo en cuenta primordialmente factores turísticos y recreativos. Este porcentaje varía entre el 5% y el 25% del tránsito actual y por las condiciones de la región, el porcentaje asumido es del 15% ya que la zona presenta un entorno en el que se destaca la belleza natural y sus verdes paisajes.

$$TG = TA \times 0.15 = 29 \times 0.15 = 5 \text{ vehículos/día}$$

Por lo tanto:

$$ITE = CNT + TD + TG = 1 + 2 + 5 = 8 \text{ vehículos/día}$$

El tránsito proyectado a un año será de:

$$TF = TA + ITE = 32 + 8$$

$$TF \text{ (año base)} = 40 \text{ vehículos/día}$$



### 9.1.5 Proyección del Volumen Total del Tránsito en el Período de Diseño

Una vez estimado el tránsito promedio diario semanal que circula en el año base o de puesta de servicio del pavimento de 40 veh/día, se procedió a calcular el volumen de tránsito para cada año de acuerdo al modelo de Regresión Geométrica; veamos la tabla 10.

**TABLA 10 Volumen Total del Tránsito en el Período de Diseño Vía Puente La Libertad - El Arbolito (estación 442)**

AÑO	TPDs		VTotal
1992	19	***	6.935
2002	27	**	9.855
2004	29		10.585
2005	40	*	14.600
2006	41		V1 = 15.123
2007	43		V2 = 15.664
2008	44		V3 = 16.225
2009	46		V4 = 16.806
2010	48		V5 = 17.407
2011	49		V6 = 18.031
2012	51		V7 = 18.676
2013	53		V8 = 19.345
2014	55		V9 = 20.037
2015	57		V10= 20.754
2016	59		V11= 21.497
2017	61		V12= 22.267
2018	63		V13= 23.064
2019	65		V14= 23.890
2020	68		V15= 24.745
$\Sigma =$			308.131

(\*\*\*) = Tránsito Promedio Diario registrado en conteo vehicular anterior, para proyección geométrica en el período de diseño

(\*\*) = Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDs) durante último conteo vehicular registrado



(\*) = Tránsito Promedio Diario que circulará por el carril de diseño en el año base o de puesta de servicio del pavimento

$$V_t = 365 \times TPD_s \times \left( \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right)$$

### 9.1.6 Volumen de Vehículos Pesados (Buses + Camiones) esperados en el primer año de servicio por el Carril de Diseño

El tránsito promedio diario semanal que circulará en el año base o de puesta de servicio del pavimento es de 40 veh/día y teniendo en cuenta que el porcentaje de camiones según INVIAS es del 33% (13) y de buses es del 17% (7), en el año 2005 transitarán 20 vehículos comerciales/día aproximadamente.

Para el tránsito en estudio según la estación de conteo, se obtuvieron para esta vía una distribución de los vehículos pesados así: C2P=23.7%, C2G=45.0%, C3-4=11.5%.

### 9.1.7 Estimativo de Ejes de 8.2 Toneladas

El efecto producido por los diferentes tipos de ejes que circulan por la vía en el daño que generará un eje patrón; para tal fin se calcula el Factor de Equivalencia de Cargas (AASHTO) y se multiplica por los diferentes números de ejes de cargas para volverlos ejes simples de 8.2 toneladas. Para este estimativo se tiene en cuenta que el tránsito promedio diario semanal que circulará en el año 10 del proyecto será de 57 veh/día y teniendo en cuenta que el porcentaje de camiones según INVIAS es del 33% (19) y de buses es del 17% (10), en el año 2015 transitarán 29 vehículos comerciales/día aproximadamente, con la siguiente distribución: C2P=23.7% (5), C2G=45.0% (9) y C3-4=11.5% (2).

Teniendo en cuenta los factores de equivalencia de carga por eje (AASHTO) para los diferentes tipos de vehículos, se calculó el número de repeticiones de ejes de 8.2 Tn. en el carril de diseño así:



**TABLA 11 Cálculo de los Factores de Carga**

Tipo de Vehículo		Factor de Equivalencia	TPDs 2004	Ejes Equivalentes A 8.2 TN
Buses	Bus Metropolitano	1.0	10	10
Camiones	C2P	1.14	5	6
	C2G	3.44	9	31
	C3-4	3.76	2	8
<b>Σ Ejes Equivalentes de 8.2 Ton. =</b>				<b>55</b>

Dado que estos volúmenes fueron contabilizados en los dos sentidos de circulación, de acuerdo al comportamiento vehicular de la zona se tomó el 50% del conteo para el carril denominado de diseño ( $55/2 \approx 28$ ), así el número total de ejes equivalentes de 8.2 Ton, se obtiene multiplicando las repeticiones de ejes en el período de diseño así:

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ Ejes Equivalentes de 8.2 Ton.} &= 28 \text{ ejes/día} \times 365 \text{ días} \times 10 \text{ años} \\ &= 102200 \text{ Ejes Equivalentes de 8.2 Ton. en el} \\ &\text{Período de Diseño} \end{aligned}$$

La variable de tránsito se puede caracterizar por medio del parámetro NDT (Número de Diseño con el Tránsito); el cual se obtiene a partir de convertir, el efecto producido por los diferentes tipos de ejes que circulan por la vía en el daño que generará un eje patrón; para tal fin se calcula el Factor de Equivalencia de Cargas (AASHTO) y se multiplica por los diferentes números de ejes de cargas para volverlos ejes simples de 8.2 toneladas.

Por definición:

$$\begin{aligned} \text{NDT} &= \Sigma \text{Ejes Equivalentes de 8.2 Ton} / 7300 \\ \text{NDT} &= 14 \end{aligned}$$

De acuerdo con el valor de NDT, el tipo de tránsito que circulará por la vía se clasifica como tránsito bajo.



### 9.1.8 Caracterización de la Resistencia de Diseño de la Subrasante

La capacidad portante o resistencia de la subrasante se obtendrá mediante la correlación del ensayo PDC con el CBR (tabla 12), obtenidos de los ensayos de laboratorio.

El penetrómetro dinámico de cono brinda una respuesta satisfactoria, tal como lo confirman los resultados de investigación efectuados en diversas partes del mundo.

A continuación se presenta un cuadro resumen de los resultados de CBR obtenidos mediante su correlación con el ensayo PDC:

**TABLA 12 CBRs DE DISEÑO OBTENIDOS POR LA CORRELACION CON EL ENSAYO PDC**

ABSCISA	PROFUNDIDAD (cm.)	CBRs DE DISEÑO
K19 + 970	De 8 a 34	1,7
K20 + 170	De 53 a 77	7,9
K20 + 370	De 27 a 86	2,6
K20 + 570	De 0 a 33	27,0
K20 + 770	De 30 a 80	6,4
K20 + 970	De 28 a 88	6,4
K21 + 170	De 0 a 99	1,8
K21 + 370	De 11 a 85	2,7
K21 + 570	De 0 a 89	1,3
K21 + 770	De 6 a 91	1,4
K21 + 970	De 0 a 93	48,8

**Nota:**

- Se tomaron los CBRs de diseño más críticos de los Ensayos de Penetración.
- Dinámica de Cono (PDC), anotando que se tomaron prácticamente del estrato 2 identificado en los ensayos.
- Se recomienda en el Km. 20 + 170, la substitución del material a una profundidad de 50 cm. (en una franja de 30 m de vía)
- Se recomienda en el Km. 20 + 770, la substitución del material a una profundidad de 30 cm. (en una franja de 30 m de vía)
- Se recomienda en el Km. 20 + 970, la substitución del material a una profundidad de 90 cm. (en una franja de 30 m de vía)



Para establecer el valor de diseño de la subrasante se tomó como criterio de diseño el valor que es igual o superado por un porcentaje del total de valores dentro de cada una de las secciones homogéneas; para este estudio se tomó el Percentil 75 (Ver anexo 8 correlación del PDC con CBR) el cual es crítico, inclusive comparado con los valores obtenidos con los ensayos hechos a las muestras tomadas; veamos:

**TABLA 13 CUADRO RESUMEN CBRs & Módulos Resilientes**

PERCENTIL	CBR(*)	Módulo Resiliente (Kg./cm <sup>2</sup> )
50	2.7	265
75	1.8	200
87.5	1.5	175

(\*) = CBRs obtenidos por correlación con el ensayo PDC, y con los que se calcularon los módulos

## 9.2 DISEÑO EMPIRICO MECANICISTA (CON DEPAV)

Para este diseño se tomará como base una metodología francesa, la cual se basa en el concepto de esfuerzos (deformaciones unitarias) de trabajo en las capas del pavimento, los cuales se determinan de acuerdo a las características de fatiga del material, el tránsito acumulado y el riesgo calculado. Con el programa DEPAV se calculan los esfuerzos y las deformaciones máximas producidas en las interfaces de un sistema elástico multicapa por una rueda doble colocada en la superficie.

### 9.2.1 Parámetros y cálculos preliminares

Para el diseño se tuvo en cuenta los siguientes criterios de pavimento flexible:

El sistema elástico multicapa está constituido por una Estructura de cuatro capas, compuesta por una capa de concreto asfáltico, sobre dos capas de material granular, construidas sobre el material de subrasante.

Para la elaboración del concreto asfáltico se utilizará asfalto con la especificación MOPT 70. Con la temperatura de servicio de 15°C (de diseño del pavimento), se obtiene un módulo de concreto asfáltico de 60.000 Kg. /cm<sup>2</sup>. La relación de Poisson del concreto asfáltico recomendada para valores de módulo mayores a 500 ksi es de  $\mu_{CA} = 0.3$  y para las capas granulares no ligadas de 0.35.



Para la caracterización de la subrasante se requiere la cuantificación de la rigidez del material definida por módulo resiliente de elasticidad y la relación de Poisson. La resistencia promedio, permanente en el tiempo, de la subrasante se determinó con la correlación existente con el CBR (del 1.8%) obteniéndose un  $M_r = 185 \text{ Kg./cm}^2 = 18.5 \text{ MPa}$ . Para esta capa se tomará una relación de Poisson de  $\mu_{SR} = 0,45$ .

Para efectos de diseño de pavimentos flexibles con capas granulares no tratadas, la metodología francesa presenta algunas recomendaciones para dimensionar los espesores de capas; veamos el siguiente cuadro:

**TABLA 14 ESPESORES MÍNIMOS RECOMENDADOS PARA ESTE DISEÑO**

CAPA	TRÁNSITO	ESPELOR MÍNIMO (cm.)
Asfáltica	$\leq T2$ (TPD 300)	6,0
Base granular	Todos	15,0
Subbase granular	Módulo de diseño de la subrasante	
	20 – 50 MPa	45,0

La caracterización del material granular, se realizó mediante las ecuaciones para el cálculo de los módulos de elasticidad presentadas por Barker, Brabston y Chou. Los cálculos de los módulos de elasticidad de las capas se pueden apreciar en la siguiente tabla:

**TABLA 15 CALCULOS DE LOS MODULOS DE ELASTICIDAD**

CAPA	MÓDULO (Kg./cm <sup>2</sup> )	$\mu$	H (cm.)		LIGA
Asfáltica	60.000	0,30	6		S
Base granular	2158	0,35	15		N
Subbase granular	1422	Módulo equivalente 877*	15	45	N
	905		15		
	473		15		
Subrasante	200	0,45	-		-

\* Módulo ponderado con  $n = 3$  y con el que se calculó el EB





El método realiza un análisis donde se escoge una combinación de espesores y materiales para suministrar el nivel de servicio deseado con el tránsito predicho; este procedimiento mecanicista abarca además los efectos climáticos, caracterización de los materiales y la función de transferencia (vínculo entre el modelo estructural y la respuesta del pavimento). A continuación se presenta un resumen del proceso:

**TABLA 16 CUADRO DE LOS CÁLCULOS OBTENIDOS POR LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA ROADENT 4.0 (POR EL PROGRAMA KENLAYER)**

VARIABLE CALCULADA	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA ROADENT 4.0
Fractil $u$ (con $r = 20\%$ )	-0,84
$-1/b$	3,20596
$b$	- 0,31192
$\delta$	0,40511
$u.\delta.b$	- 0,10614
$K_r$	0,783
$K_c$	1,1
$K_s$	1
$F_1$	$2,83 \times 10^{-6}$
$F_2 = -1/b$	3,20596
$F_3$	0,00000
$\epsilon_t$	$5,092 \times 10^{-4}$
$\epsilon_t, adm$	$4,385 \times 10^{-4}$
$\epsilon_Z, adm$	$1,236 \times 10^{-3}$

**TABLA 17 ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA ANÁLISIS CON DEPAV**

CAPA	MÓDULO (Kg./cm <sup>2</sup> )	$\mu$	H (cm.)	LIGA
Asfáltica	60.000	0,30	6	S
Base granular	2200	0,35	15	N
Subbase granular	900	0,35	45	N
Subrasante	200	0,45	-	-



La configuración de carga aplicada corresponde a un semieje de 4.1 toneladas aplicadas a través de una rueda doble con las características descritas en el siguiente cuadro:

**TABLA 18 CONFIGURACIÓN DE LA CARGA EN DEPAV**

<b>Radio del área de contacto de una rueda (cm.)</b>	10.8
<b>Presión de contacto (Kg. /cm<sup>2</sup>)</b>	5.6
<b>Distancia entre los centros de las áreas de contacto</b>	32.4

### 9.2.2 Análisis mecanicista con el programa Depav

Mediante el análisis mecanicista con el programa DEPAV se determina el espesor de la capa de concreto asfáltico que satisface las condiciones de diseño. (Ver anexo 9 – Resultados Depav).

**TABLA 19 ESPESORES OBTENIDOS**

<b>CAPA</b>	<b>MÓDULO (Kg. /cm<sup>2</sup>)</b>	<b>μ</b>	<b>h (cm.)</b>	<b>LIGA</b>	<b>STRAIN (mm./mm.)</b>
<b>Asfáltica</b>	60.000	0,30	5	S	ε t
<b>Base granular</b>	2200	0,35	15	N	-3,92 E-0,4
<b>Subbase granular</b>	900	0,35	20	N	ε Z
<b>Subrasante</b>	200	0,45	-	-	3,32 E-04

La deformación unitaria por tensión calculada de 3,92 E-04 es inferior a la admisible obtenida por la función ROADENT 4.0 de 4,385 E-04, y la deformación unitaria por compresión en la subrasante calculada de 3.32 E-4 es inferior a la admisible de 1.236 E-3; o sea que estos dos criterios quedan satisfecho por el diseño.



### 9.3 Diseño por el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes

El procedimiento de diseño desarrollado en este Manual es aplicable a pavimentos de carreteras interurbanas y tienen en cuenta el bajo nivel de tránsito de algunas vías. El diseño exige la valoración del tránsito pesado previsto durante el primer año de servicio (estimado en el numeral 9.1.6) y de la resistencia de la subrasante (numeral 9.1.8); veamos:

**TABLA 20 TRANSITO**

Designación	Rango de tránsito acumulado por carril de diseño
T2	11 < 20 < 25

**TABLA 21 CATEGORÍA DE LA SUBRASANTE**

Clasificación de la Subrasante	CBR %
S1	≈ 2

Descripción Alternativa Estructura BAJOS VOLUMENES:

Con la información obtenida Niveles de Tránsito (T2) y Condiciones de Resistencia de los Suelos de Subrasante (S1), se obtuvo el siguiente diseño:

**TABLA 22 ESPESORES OBTENIDOS**

Capa	H (cm.)
Carpeta Asfáltica	5
Base Granular (BG1)	15
Subbase Granular (SBG1)	20

Solución por el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes

Especificaciones:

BG1 = Triturado: TMAX 25 mm., Pasa #4 = 35 a 65 %, Pasa #200 = 5 a 15 %, IP ≤ 3, Compactación 100% de Proctor Modificado; INV 330.



SBG1 = Triturado: TMAX 50 mm., Pasa #4 = 30 a 70 %, Pasa #200 = 4 a 20 %, IP  $\leq 6$ , CBR > 20-30-40, Compactación 95% DE Proctor Modificado; INV 320.

## 9.4 DISEÑO POR EL MÉTODO AASHTO

### 9.4.1 Parámetros y cálculos preliminares

Para el diseño se tuvo en cuenta los siguientes criterios de pavimento flexible:

El factor de equivalencia de cargas es el número por el cual se debe multiplicar cualquier número de ejes de determinada carga para convertir su efecto en el pavimento en el producido por un determinado número de ejes simples de 8,2 toneladas; el eje simple de 8,2 toneladas es el patrón empleado por el Instituto Norteamericano del Asfalto. Este factor fue estimado en el numeral 1.9.1.

Para este caso la proyección del tránsito en el tiempo responde a un modelo de progresión geométrica con un incremento anual del 4% (tabla 10).

El tránsito estimado fue de 102200 ejes en el período de diseño.

El Módulo Resiliente según la ecuación que lo correlaciona con el valor de CBR, formulada por HEUKELOM Y KLUMP ( $M_R$  (psi) = 1,500 x CBR) equivale a  $M_R = 2700$  psi.

Para el ajuste del tránsito calculado con los factores equivalentes AASHTO, se hace uso de la ecuación básica de diseño para pavimentos flexibles y se determina un número estructural (SN). El número estructural SN, es un número que expresa la resistencia estructural del pavimento requerida para una combinación de  $M_R$ , tránsito, serviciabilidad y medio ambiente. La ecuación es:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN + 1) + 0,20 + \dots$$

$$\dots + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1,094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_R) + 8,07$$



La confiabilidad en el desempeño del pavimento para las condiciones de tránsito y medio ambiente imperantes sugerida de acuerdo a la clasificación funcional de la vía es  $R = 95\%$  ( $ZR = -1.645$ ) Y  $S_0=0.49$ .

El índice de serviciabilidad del pavimento es un estimado de rugosidad y daño en un momento determinado de la vida del pavimento (se mide de 0 a 5). La serviciabilidad inicial,  $p_0$ , se asumirá en 4.2 y la final,  $p_t$ , en 2.0, para obtener un  $\Delta PSI = 2.2$ .

Para los materiales del pavimento con sus respectivos CBRs, se presentan algunas equivalencias entre valores de resistencia de uso frecuente. En la tabla 23 podemos apreciar los módulos y coeficientes de capa que se utilizaron:

**TABLA 23 VALORES DE RESISTENCIA PARA LOS MATERIALES**

Material	CBR	Módulo (ksi)	Coefficiente
Concreto Asfáltico	---	30.500 Kg. /cm <sup>2</sup> = 435	$a_1 = 0.440$
Base	80	2.000 Kg. /cm <sup>2</sup> = 28	$a_2 = 0.130$
Subbase	25	950 Kg. /cm <sup>2</sup> =14	$a_3 = 0.100$

#### 9.4.2 Cálculo del número estructural y análisis de capas

Se asumió un número estructural inicial (SN) de 4; según la ecuación 1 se obtuvo:

SNALL	W18
4	195.827
3,5	78.269
3,65	104.094

Se determina el número estructural necesario, SN1, sobre la capa de base (se realizó con la ecuación 1 y se tiene en cuenta que  $EBG = 28000$  psi), y se deduce el espesor real de la capa de rodadura en concreto asfáltico,  $D1^*$  ,:



$$\frac{\uparrow SN_1}{BG}$$

W18	SN1
104.904	1.54

$$D1 = SN1 / a1 = 1.54 / 0.44 = 3.50 \text{ plgs}$$

$$D1^* = 3.5 \text{ plgs} > 2.5 \text{ plgs OK!}$$

$$SN1^* = D1^* \times a1 = 2.5 \times 0.44 = 1.10$$

En el proceso de diseño de pavimentos flexibles es necesario determinar los coeficientes de drenaje, m2 y m3, que se aplican exclusivamente a las capas de base y subbase granulares no tratadas respectivamente. Se tomarán igual a 1.0

Se determina el número estructural necesario, SN2, sobre la capa de subbase (se realizó con la ecuación 1 y se tiene en cuenta que ESBG = 14000 psi) y se deduce el espesor real de la capa de rodadura en concreto asfáltico, D2\* ,:

$$\frac{\uparrow SN_2}{SBG}$$

W18	SN2
103.086	2.02

$$D2 = (SN2 - SN1^*) / (a2 \times m2) = (2.02 - 1.10) / (0.130 \times 1.0) = 7 \text{ plgs}$$

$$D2^* = 7 \text{ plgs} > 4 \text{ plgs OK!}$$

$$SN2^* = D2^* \times (a2 \times m2) = 6 \times (0.130 \times 1) = 0.78$$

El número estructural necesario, SN3, es igual al número estructural total establecido para el diseño, SN, y así se determina el espesor real de la capa de subbase D3\* para concluir el proceso de diseño:

$$D3 = (SN3 - SN1^* - SN2^*) / (a3 \times m3) = (3.65 - 1.10 - 0.78) / (0.100 \times 1.0) = 17.7 \text{ plgs}$$

$$D3^* = 18 \text{ plgs}$$

El número estructural dispuesto finalmente es:

$$SN = (2.5 \times 0.44) + (6 \times 0.130 \times 1.0) + (18 \times 0.100 \times 1.0) = 3.68 > 3.65 \text{ OK!}$$



El diseño obtenido es el siguiente:

**TABLA 24 ESPESORES OBTENIDOS AASHTO**

Capa	H (cm.)
Carpeta Asfáltica	2.5" = 6 cm.
Base Granular	6" = 15 cm.
Subbase Granular	18" = 45 cm.

### 9.5 DISEÑO POR EL MÉTODO EMPÍRICO DE LA ROAD NOTE 31/1993

Esta versión conserva la caracterización del tránsito como repeticiones de ejes equivalentes a ejes estándar de 8.200 kilogramos y la caracterización de la resistencia de la subrasante mediante el CBR.

Se tomará como valor de diseño, el valor de resistencia que sea menor que el 75% de los resultados obtenidos, o sea, un percentil de diseño del 75%; lo que equivale a un valor de CBR del 1,8%.

Este valor de CBR se le asigna a uno de los rangos determinados por la Nota Vial para la clase de resistencia de la subrasante, que para este caso arrojó la clase S1 dentro del rango de CBR (%) = 2

Este método recomienda que la vida de diseño sea igual al período de análisis con el fin de minimizar la vida residual del pavimento, y para este caso se recomienda una vida de 15 años debido a la incertidumbre de la proyección.

El diseño de espesores es relativamente insensible al número de repeticiones de carga, por lo cual se maneja dentro de una serie de clases, que para este caso fue de:

CLASE DE TRANSITO	RANGO (106 ejes estándar equivalentes)
T1	< 0.3



La opción de espesores de diseño arrojados por el método de la Nota Vial 31 de 1993, es la siguiente:

Capa de Rodadura = Tratamiento superficial doble

Base granular = 150 mm.= 15 cm.

Sub-base granular = 175 mm.= 17.5 cm.

Relleno seleccionado = 300 mm.= 30 cm.

**NOTA** = Es de anotar que el método define que si la capa de rodadura se construye con 5 cm. de material bituminoso flexible (asfalto), 15 cm. de base granular, 20 cm. de subbase granular y 30 cm. de relleno seleccionado; la vida de diseño puede verse incrementada y/o un número admisible de repeticiones de carga mayor (de hasta 1.000.000 de ejes en un período de 15 años).

## 9.6 RESUMEN DISEÑOS ESTIMADOS PARA EL PAVIMENTO VIA PUENTE LA LIBERTAD – EL ARBOLITO DEL K 19 + 970 AL K 21 + 970

### 9.6.1 MÉTODO EMPIRICO – MECANICISTAS (CON DEPAV)

Aplican la teoría del sistema de capas elásticas para analizar la respuesta a las cargas impuestas y establecer los materiales y espesores necesarios para soportarlas adecuadamente.

Para este diseño se tomó el análisis Mecanicista por el programa DEPAV, es cual se basa en la metodología francesa, la cual se basa en el concepto de esfuerzos (deformaciones unitarias) de trabajo en las capas del pavimento, los cuales se determinan de acuerdo a las características de fatiga del material, el tránsito acumulado y el riesgo calculado; veamos:

CARPETA ASFÁLTICA	D1 = 5 cm.
BASE GRANULAR	D2 = 15 cm.
SUBBASE GRANULAR	D3 = 20 cm.





### 9.6.2 MÉTODOS EMPIRICOS (Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes)

Fueron los primeros en ser desarrollados y se caracterizan por la ausencia de predicción explícita del daño causado por la fatiga y están basados en la experiencia.

Se tomó el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito, el cual presenta estructuras consecuentes con las condiciones físicas, ambientales, técnicas y económicas del país; veamos:

CARPETA ASFÁLTICA	D1 = 5 cm.
BASE GRANULAR	D2 = 15 cm.
SUBBASE GRANULAR	D3 = 20 cm.

### 9.6.3 MÉTODO AASHTO

Este procedimiento es de amplia aceptación para el diseño de pavimentos flexibles. El método es empírico y trabaja bajo variables como el número estructural que combina la resistencia de la subrasante, el número predicho de ejes equivalentes de 18 kips (18000 libras), el concepto de servicialidad expresada en el desempeño del pavimento con el tiempo y el medio ambiente

CARPETA ASFÁLTICA	D1 = 2.5" = 6 cm.
BASE GRANULAR	D2 = 6" = 15 cm.
SUBBASE GRANULAR	D3 = 18" = 45 cm.



### 9.6.4 MÉTODO ROAD NOTE 31 DE 1993

El método de diseño contempla las variables de diseño tales como: la estimación del tránsito en repeticiones de ejes, determinación de la resistencia de la subrasante, selección de la combinación de materiales y espesores más económica.

#### OPCION 1

TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE
BASE GRANULAR D2 = 15 cm.
SUBBASE GRANULAR D3 = 17.5 cm.
RELLENO SELECCIONADO D4 = 30 cm.

#### OPCION 2

CARPETA ASFÁLTICA D1 = 5 cm.
BASE GRANULAR D2 = 15 cm.
SUBBASE GRANULAR D3 = 20 cm.
RELLENO SELECCIONADO D4 = 30 cm.



## 10 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Dando cumplimiento a lo estipulado en la Resolución Número 0696 del 24 de julio de 1997 del Ministerio del Medio Ambiente, se presenta para su análisis y evaluación el Estudio de Impacto Ambiental para el Proyecto de Rehabilitación Vial Puente de la Libertad – El Arbolito (Km 17+970 a Km 19+970).

### 10.1 Síntesis

La zona de estudio se caracteriza por localizarse sobre un relieve montañoso: de laderas erosionables, estructurales, cimas erosionables y altiplanicies; con pendientes superiores al 50% en promedio de inclinación en la mayor parte del área; los procesos erosivos están asociados principalmente al trazado de la vía. La zona de estudio se caracteriza por la presencia de rocas ígneas y los depósitos de Caída Piroclástica.

El tramo de vía en estudio se caracteriza de modo general por su mal estado, en el cual se destaca la falta de obras de manejo de las aguas de escorrentía y mal estado de transversales.

Las obras básicas del proyecto de rehabilitación comprenden, escarificación de la banca, instalación de base, sub-base, capa de rodadura, construcción de cunetas, transversales, perfilamiento de taludes y construcción de obras bioingenieriles.

Aunque los impactos generados por el desarrollo del proyecto no son muy significativos, se elaboró varias matrices causa–efecto, tanto para los impactos negativos como positivos, en donde se considera la actividad que genera un impacto determinado, el área de influencia, la frecuencia, la magnitud, la reversibilidad, la importancia, la probabilidad, duración tipo y plazo de manifestación de los diferentes impactos.

Se determinó un Plan de Manejo Ambiental, encaminado a señalar e identificar la obra durante su desarrollo, a favorecer a la comunidad del área con la generación temporal de empleo, a manejar adecuadamente el material sobrante, a dar cumplimiento a la Resolución 541/94 del Ministerio del Medio Ambiente y a plantear la solución a las posibles contingencias que se puedan originar durante el desarrollo de la obra.



Las necesidades de aprovechamiento de recursos naturales renovables y no renovables son mínimas, ya que se trata de un proyecto de mejoramiento vial, en el cual la vía existente no exige grandes movimientos de tierra, ni adecuaciones especiales; el material de río se obtendrá del Río Chinchiná, localizado al sur occidente de Manizales y a unos 20 Km. de esta, en los sectores conocidos como el Pescadero con permisos de explotación manual.

El costo total del proyecto es de ochocientos millones y el tiempo de ejecución está planteado en un periodo de 180 días.

## **10.2 Descripción y análisis del proyecto**

El proyecto se desarrolla en el departamento de Caldas, municipio de Manizales y Villamaría y comprenden una longitud de 2 Km donde ambientalmente la Corporación Autónoma Regional de Caldas, Corpocaldas, es la autoridad.

El trayecto a rehabilitar atraviesa una zona dedicada primordialmente a la actividad forestal, explotación aluvial, además una baja densidad de población, y una infraestructura de servicios regular.

Las obras a realizar en el tramo de interés, consisten en:

Construcción de obras de arte, tales como cunetas y transversales, estructuras de disipación de energía y descoles de amortiguación.

Instalación de rasante mejorada, base, sub-base y capa de rodadura.

Realización de obras para la estabilización de taludes y el tratamiento de zonas potencialmente inestables, tales como zanjas colectoras, acequias, canales de rápidas, drenes en zanja, filtros.

Para la ejecución de la obra no se hace necesario el establecimiento de campamentos y talleres, pues la cercanía del proyecto tanto a la cabecera municipal, permite que los obreros se desplacen hasta sus sitios de vivienda y/o alojamiento.



### **10.3 Estimación de requerimiento de personal para cada actividad**

Coordinación general del proyecto  
Un Ingeniero Civil.

Coordinador de las obras en campo  
Un Ingeniero Civil Residente.

Replanteo topográfico  
Un topógrafo y tres cadeneros.

Instalación de base, subbase  
3 Operarios, 1 maestro y 5 ayudantes.

Instalación capa de rodadura  
3 Operarios, 1 maestro y 10 ayudantes.

Construcción cunetas vehiculares y transversales  
1 Maestro de obra, 3 oficiales y 15 ayudantes.

Estabilidad de taludes  
1 Maestro, 3 Oficiales y 15 ayudantes.

### **10.4 Demanda de recursos naturales del proyecto**

Para definir este punto es necesario tener en cuenta:

Las dimensiones en área del proyecto, es decir: 2 Km de longitud de la vía que va a ser rehabilitado por un ancho promedio de 6 m, lo que representa un área de 12.000 metros cuadrados.

La realización de la obra sobre un derecho de vía, implica la no intervención de especies arbóreas en su recorrido.

Los volúmenes de materiales de construcción (canteras y/o material de arrastre), están limitados al desarrollo de cunetas, la conformación de la estructura de la vía y la instalación de la capa de rodadura.

Lo expuesto anteriormente, permite concluir que la demanda de recursos naturales del proyecto es muy baja y no representa impactos significativos al medio ambiente.



## **10.5 Caracterización ambiental del área de estudio**

La zona se caracteriza por presentar un relieve montañoso de laderas erosionables, laderas estructurales, y cimas erosionables, con pendientes en promedio mayores al 50% de inclinación, en lo que respecta al corredor vial.

### **10.5.1 Trazado y características geométricas (planta, perfil y cortes típicos)**

Ver planos de diseño correspondientes. Anexo 13 y 14.

### **10.5.2 Tipo de estructuras necesarias**

El proyecto de mejoramiento y rehabilitación no requiere de la construcción de pasos a nivel y/o desnivel, puentes o el cruce con obras lineales.

### **10.5.3 Necesidad de desvíos y canalizaciones de cauces definitivas**

Se cuenta a lo largo de la vía con pocas transversales, por tanto se hace necesario la construcción de una serie de obras de este tipo a lo largo del corredor vial.

Las cunetas al igual que las transversales son muy pocas, por tanto se requiere la construcción de cunetas revestidas a todo lo largo de la vía, a ambos lados; lo cual permitirá proteger las estructuras, evitar saturación de la base de los taludes adyacentes y evacuar rápidamente las aguas de escorrentía.

#### **Provisionales**

Debido a que no hay necesidad de interrumpir ningún tipo de corriente a lo largo de la vía, no se plantea desvíos e intervenciones temporales.

### **10.5.4 Infraestructura de servicios interceptados**

El proyecto de mejoramiento vial no plantea la interceptación de redes eléctricas, acueductos, caminos o senderos.



### 10.5.5 Organización de los trabajos a emprender

- Presupuesto estimado del proyecto.

El presupuesto de las obras es de Ochocientos millones de pesos, (Ver anexo 10) para un tiempo estimado de ejecución de 180 días.

- Cronograma detallado de las obras.

El cronograma de las diferentes actividades a realizar en el proyecto de mejoramiento vial se indica en la tabla 25.

**TABLA 25 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE LAS OBRAS A DESARROLLAR**

Etapa del proyecto	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6
Localización y replanteo						
Corte y lleno						
Escarificación y nivelación						
Instalación de la sub-base						
Instalación de la base						
Instalación de la capa de rodadura						
Intervención y estabilización de taludes						
Instalación de filtros						
Construcción de cunetas						

- Recomendación de obras temporales (campamentos, talleres). No se tienen previstos la construcción de talleres ni campamentos, dado la cercanía del proyecto a zona urbana de la ciudad.
- Remoción de material vegetal y descapote. El material resultante de la rocería y el descapote se depositará de manera adecuada sobre los sitios previstos para la ubicación de escombros.
- Diagrama de masas, (material de relleno y excavaciones). Ver anexo 4 (Cartera de volúmenes de movimiento de tierras) y anexo 13 (Planos secciones transversales).



- Taludes previstos en cortes y terraplenes. Los taludes generados e intervenidos durante las labores de rectificación del trazado geométrico de la vía se aprecian en el anexo 13.
- Alternativas para cruce de cuerpos de agua. No se tiene previsto intervenir ningún cuerpo de agua a lo largo de la vía, puesto que las obras para el manejo de las aguas de escorrentía y el cruce de drenajes tales como transversales y Box Coulvert ya existen, la única intervención es que serán mejoradas para su adecuado funcionamiento hidráulico.

### **10.5.6 Demanda de recursos naturales**

Alternativas de sitios para obtención de material de construcción (Cantera y/o material de arrastre), volúmenes requeridos, sitios para disposición de estériles. Las zonas donde se tiene planteado la obtención de materiales para el mejoramiento vial, corresponden al Río Chinchiná cualquier quebrada que presente permiso de explotación dentro del área del proyecto.

## **10.6 Caracterización ambiental del área de estudio**

### **10.6.1 Aspectos biofísicos**

#### **10.6.1.1 Geología**

En el capítulo 4 de este documento se hace una descripción detallada de este aspecto.

#### **10.6.1.2 Geotecnia**

En el capítulo 5 de este documento se hace un análisis geotécnico detallado de la zona del proyecto.





### **10.6.1.3 Hidrología**

Al igual que para el aspecto Geológico en el capítulo 8 se hace una descripción detallada sobre este tema.

### **10.6.2 Componente faunístico**

Debido a que la zona del proyecto se enmarca dentro de un área de reserva natural, encontramos allí gran variedad de especies nativas.

El proyecto vial no afectará el hábitat de estas especies, debido a que como se ha venido diciendo durante el documento la intervención es mínima y se limita al ancho correspondiente al derecho de vía.

## **10.7 Aspecto social**

### **10.7.1 Demografía**

El proyecto se localiza en la zona de páramo, población campesina. La población de la zona del proyecto no supera los 1000 habitantes.

### **10.7.2 Educación**

La zona con los siguientes centros educativos:

Primaria = 1

Bachillerato = 0

### **10.7.3 Culto**

Existe 1 Iglesia Católica.



### **10.8 Servicios públicos.**

No cuenta con redes de acueducto, alcantarillado, ni telefónica, la telefonía celular no funciona apropiadamente. En lo que tiene que ver con el transporte público el servicio hacia la zona es muy precario, únicamente un bus que viaja a Murillo.

### **10.9 Identificación y evaluación de impactos**

Se estima que los volúmenes a remover serán de aproximadamente 5.000 metros cúbicos, que corresponden a las excavaciones para la construcción de cunetas y filtros, remoción para la estabilización de taludes, cortes de taludes para rectificación de curvas.

Es necesario también, poner de manifiesto que el desarrollo del proyecto en mención, es una obra que por su magnitud no tiene mayores implicaciones de tipo ambiental, así:

No se plantea la instalación y operación de construcciones temporales, como campamentos y plantas de asfalto, pues como se mencionó con anterioridad en el desarrollo de la obra se empleará preferiblemente personal de la región, el personal especializado tiene la posibilidad de desplazarse diariamente hasta el casco urbano de la Ciudad.

La disposición de material sobrante, se hará en las zonas definidas con anterioridad y que cumplan con los requisitos ambientales establecidos.

Los acarreos de material se harán desde el río Chinchiná o cualquier quebrada con permiso de explotación, en donde se realiza explotaciones manuales, el cual proveerá el material de río (triturado para la base y subbase) para la rehabilitación de la vía; durante el transporte de material se dará cumplimiento a la normatividad existente al respecto (Resolución 541/94 del Ministerio del Medio Ambiente).

Dentro del proyecto no se utilizarán explosivos y como ya se mencionó no se instalarán plantas de trituración ni de asfalto.

### **10.10 Descripción de impactos ambientales**

El proceso de evaluación e identificación de impactos permite definir los aspectos tanto positivos y negativos que genera el proyecto de mejoramiento y rehabilitación vial Puente de la Libertad – El Arbolito (del K17+970 al K19+970), durante sus etapas de construcción, operación y mantenimiento. Es claro que los principales impactos negativos se generan durante la etapa de construcción,



mientras que los impactos positivos son predominantes en la etapa de operación del proyecto.

A continuación se presenta una lista de los principales impactos identificados en el presente proyecto, tanto de carácter positivo como negativo:

### **10.10.1 Impactos positivos**

**Generación de empleo:** El proyecto en mención se convierte en una importante fuente de empleo para los residentes en la zona de influencia, tanto durante la etapa de construcción por la mano de obra que requieren las obras a desarrollar, como durante la etapa de operación por las expectativas laborales que genera una zona con buenas vías de acceso.

**Mejoramiento de las condiciones técnicas de la vía:** Uno de los principales impactos de carácter positivo que genera el proyecto vial es el mejoramiento de las condiciones técnicas de la vía.

**Mejoramiento y Diversificación en las actividades agropecuarias:** Con el mejoramiento de la vía se mejoran y facilitan las posibilidades de desarrollar e intercambiar actividades agropecuarias por la facilidad para el mercadeo y porque se fomenta el ingreso de nuevas tecnologías al sector.

**Aumento en las actividades económicas:** Como consecuencia del desarrollo de diferentes actividades relacionadas con la existencia de una vía en excelentes condiciones, se genera necesariamente un incremento a todo nivel en la economía de la zona lo cual se refleja en la posibilidad de incrementar los ingresos económicos en el sector a nivel local.

**Revalorización de las propiedades:** Con el mejoramiento de la vía, los predios localizados en el área de influencia directa del corredor vial presentaran un incremento notable en su valor comercial por las posibilidades y expectativas que se generan.

**Estímulo del Desarrollo local:** El desarrollo de las regiones está estrechamente ligado a una buena infraestructura vial, con el mejoramiento vial se crean posibilidades para el desarrollo de la región.

**Incremento o surgimiento de la actividad Turística:** El proyecto de mejoramiento vial permite a futuro la explotación turística del área, favorecida por los agradables paisajes que ofrece la zona. Especialmente el hotel termales del Ruiz.



**Estabilización de Zonas:** Durante el desarrollo del proyecto vial, se controlan las zonas inestables existentes en la actualidad, lo cual contribuye al mejoramiento integral del área y la calidad de vida de los habitantes.

**Reducción de material particulado por la pavimentación:** Este impacto se genera al finalizar el proyecto, una vez se construya la capa asfáltica la cual disminuirá notablemente la presencia de las partículas existentes en la vía, principalmente polvo; disminuyendo las molestias y potenciales enfermedades que puedan presentar los habitantes de la zona, además la fauna y flora de la misma.

**Mejoramiento de la Calidad de Vida:** En síntesis y con base en los anteriores impactos positivos identificados, de manera consecuente el desarrollo del Proyecto de mejoramiento vial genera amplias posibilidades a todo nivel para las comunidades existentes en la zona de influencia de este, lo cual incide en el mejoramiento de la calidad de vida de estos, lo cual justifica plenamente su ejecución.

### **10.10.2 Impactos negativos**

#### **Durante la etapa de construcción:**

- Generación de material sobrante durante la etapa de limpieza y rocería.
- Generación de Partículas sólidas suspendidas durante la escarificación de la sub-base existente, aplicación de la base, etapa de excavación, sustitución, disposición de sobrantes, descapote, construcción de muros y obras de arte, conformación de taludes y producción de concreto.
- Aumento de la sedimentación durante las etapas de escarificación de la sub-base existente, aplicación de la base, excavación, disposición de sobrantes, descapote, conformación de taludes, producción de concreto.
- Aumento de los niveles de ruido durante la aplicación de la base y de la carpeta asfáltica, durante la excavación, la construcción de muros y obras de arte.
- Generación de aditivos químicos durante la aplicación de la capa de rodadura.
- Afectación de predios particulares.
- Afectación de drenajes que cruzan la vía.



- Durante la etapa de operación se pueden presentar los siguientes impactos negativos:
- Aumento en los índices de accidentalidad tanto vehicular como peatonal.

### 10.11 Discusión de los resultados

De lo anterior es posible dimensionar dos escenarios dentro del Estudio de Impacto Ambiental, con el fin de establecer el valor potencial de la realización del proyecto; dichos escenarios se refieren al área sin la realización del proyecto de mejoramiento vial o con su realización: Como se puede establecer en el análisis de impactos, los impactos positivos que genera el proyecto ocurren principalmente durante la etapa de operación y son de mayor peso que los impactos negativos, los cuales ocurren principalmente durante la etapa de construcción; además sin la ejecución del proyecto esta zona de la ciudad se aislará aún más y a todo nivel, con perjuicios significativos para la población.

Para la evaluación de los impactos descritos anteriormente se han diseñado dos matrices adecuadas y especiales para este tipo de proyectos, una que recopila los impactos positivos y otra para los impactos negativos, las cuales relacionan de manera pormenorizada cada actividad del proyecto y los impactos que estas generan, el área de influencia, la frecuencia, la magnitud, la importancia, probabilidad de ocurrencia, carácter de reversibilidad, duración y el tipo (Ver Matriz 1 para los impactos positivos y Matriz 2 para los impactos negativos).

Los componentes físicos (aire, agua y suelo) y socioeconómicos (población e infraestructura), están relacionados con los diferentes impactos que se pueden presentar durante el desarrollo del proyecto así:

- El elemento aire puede verse afectado por el Ruido y la Generación de Partículas suspendidas.
- El Agua se afecta con el Aumento de Sedimentos y la generación de aditivos (Químicos).
- El suelo esta afectado con la generación de material vegetal sobrante, la generación de partículas suspendidas, el aumento de la sedimentación, la generación de aditivos.

La Población se verá afectada desde el punto de vista negativo por el ruido, la generación de partículas suspendidas, la ocupación del espacio público, la interrupción de vías, el aumento de los niveles de accidentalidad. Desde el punto de vista positivo los impactos que afectan a la población son la generación de



empleo, mejoramiento de las condiciones técnicas de la vía, y diversificación de las actividades agropecuarias, aumento de las actividades económicas, revalorización de las propiedades, estímulo del desarrollo local, incremento o surgimiento de la actividad turística, estabilización de zonas, reducción de material particulado por pavimentación y el mejoramiento de la calidad de vida.

Del análisis detallado de las matrices se concluye:

- Durante la fase de construcción del proyecto se generan los principales impactos de carácter negativo.
- El área de influencia de los diferentes impactos generados es generalmente de nivel local lo que implica la necesidad de controlar dichos impactos.
- La magnitud de los diferentes impactos negativos está clasificada como moderada y baja, solamente el ruido en las actividades de aplicación de la base y la capa de rodadura es considerado de magnitud alta.
- Los impactos de carácter negativo que como se dijo anteriormente se generan en la fase de construcción del proyecto, son de efecto temporal y el plazo de manifestación es corto con contadas excepciones de mediano plazo.
- Predomina en los impactos negativos las frecuencias de carácter medio y bajo.
- La probabilidad de ocurrencia de la mayoría de los impactos negativos es real, lo que conlleva a implementar medidas tendientes a mitigar estos impactos.
- Finalmente es notorio que todos los impactos negativos son mitigables con la implementación de las medidas adoptadas por el plan de manejo ambiental, lo cual demuestra claramente la viabilidad del proyecto de mejoramiento vial.
- Los impactos de carácter positivo ocurren durante las etapas de operación y mantenimiento.
- El área de influencia de los impactos positivos es local y su magnitud es moderada.
- Se considera que los impactos positivos una vez generados podrían mantener su efecto en el medio a lo largo de los años. De igual manera la probabilidad que dichos impactos se generen es real en la mayoría de los casos.



- Los impactos de carácter positivo que se generan en las fases de operación y mantenimiento son permanente y el plazo de manifestación es de mediano y largo plazo.

Se elaboró además una matriz de carácter cuantitativo basada en la metodología establecida por las Empresas Públicas de Medellín, con algunas modificaciones que permiten ajustarla al proyecto de rehabilitación y mejoramiento vial; en el proceso de elaboración de dicha matriz se siguieron las siguientes etapas:

Determinación de los parámetros evaluados para la cuantificación de los impactos causados en el proyecto de Rehabilitación y Mejoramiento Vial.

La siguiente tabla muestra los diferentes parámetros a tener en cuenta en la evaluación y calificación de los impactos de carácter positivo y negativo que se analizaron en el proyecto vial:

**TABLA 26 PARAMETROS DE EVALUACION Y CALIFICACION DE IMPACTOS**

<b>CLASE ( CI )</b>	Define el sentido de cambio neto producido por una acción sobre el ambiente. puede ser benéfico (+) o adverso (-).
<b>PRESENCIA (Pr)</b>	Califica la probabilidad de que el impacto pueda darse.
<b>DESARROLLO (De)</b>	Califica el tiempo que el impacto tarda en desarrollarse completamente
<b>DURACION (Du)</b>	Califica el tiempo de existencia del impacto y sus consecuencias. Independiente de toda acción de mitigación.
<b>MAGNITUD (Ma)</b>	Califica la dimensión o tamaño del cambio ambiental producido sobre un determinado recurso o elemento ambiental.
<b>CALIFICACION ECOLOGICA (Ce)</b>	Es la expresión numérica de la interacción de los parámetros anteriores mediante la siguiente fórmula : $Ce = Pr (a(De * Ma) + b (Du) )$

En la fórmula de calificación ecológica (Ce) intervienen los diferentes parámetros establecidos como son clase, presencia, desarrollo, duración y magnitud, combinados con a y b que son dos constantes cuyos valores son:

$$a = 0,7 \qquad b = 0,3$$



Los parámetros anteriormente establecidos tienen unos rangos de calificación numéricos lo cual permite la aplicación de la fórmula de Calificación ecológica cuyos valores se muestran en la siguiente tabla:

**TABLA 27 RANGOS DE CALIFICACION DE LOS PARAMETROS**

<b>PRESENCIA</b>	<b>( Pr )</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>( De)</b>	<b>DURACION</b>	<b>(Du)</b>
Cierto	1.0	Muy rápido (<1 mes)	0.8-1.0	Permanente (>10 años)	10
Muy Probable	0.7-0.9	Rápido (1-6 meses)	0.6-0.8	Largo (7-10 años)	7-10
Probable	0.3-0.7	Medio (6-12 meses)	0.4-0.6	Medio(4-7 años)	4-7
Poco Probable	0.1-0.3	Lento (12-24meses)	0.2-0.4	Corto(1-4 años)	1-4
		Muy lento (>24 meses)	0-0.2	Muy corto (<1 año)	0-1
<b>MAGNITUD</b>	<b>(Ma)</b>	<b>CALIFICACION</b>	<b>(Ce)</b>		
Muy alta 80-100%	8-10	Muy alta	6-8		
Alta 60-80%	6-8	Alta	6-8		
Media 40-60%	4-6	Media	3-6		
Baja 20-40%	2-4	Baja	1-3		
Muy baja 0-20%	0-2	Muy baja despreciable	0-1		

De acuerdo a estos valores se establece la relación de los parámetros con los diferentes impactos identificados con el fin de definir el grado de afectación que se causa en los indicadores establecidos de acuerdo al proyecto en cuestión, el análisis y combinación de esta información permite elaborar una matriz cuyo resultado final es la calificación ecológica o grado de afectación, que permite clasificar los impactos en despreciables, de baja afectación, de media afectación, de alta y de muy alta afectación. En la tabla 27 se presenta la matriz de cuantificación de impactos.





Del análisis detallado de la matriz cuantitativa se puede concluir:

- Como impactos cuyo grado de afectación es despreciable se tienen el aumento en la sedimentación, la generación de material sobrante, la generación de aditivos químicos, la disminución en la biodiversidad, la disminución en la abundancia de especies, el deterioro de obras civiles.
- Los impactos con grado de afectación muy bajo son la generación de partículas suspendidas y el aumento en los niveles de ruido.
- Aquellos impactos cuyo grado de afectación es bajo son la generación de zonas inestables, la afectación de zonas protectoras de agua, la pérdida de biomasa vegetal y hábitats, la afectación de reservas forestales, el aumento en los niveles de accidentalidad y el deterioro de las vías periféricas.
- Como impactos de afectación media tenemos la estabilización de zonas , el mejoramiento y diversificación en las actividades agropecuarias, el aumento en las actividades económicas, la afectación de predios particulares, la revalorización de las propiedades, el aumento del tiempo disponible para las labores productivas, el estímulo del desarrollo local y el incremento o surgimiento de la actividad turística.
- Los impactos con grado de afectación alto son el aumento en las rutas de transporte, la generación de empleo, el mejoramiento en las condiciones técnicas de la vía, el incremento en los ingresos en la zona y el mejoramiento de la calidad de vida.
- Con grado de afectación muy alto se tiene la disminución del material particulado por pavimentación.
- Al efectuar un paralelo entre las matrices cualitativas que aparecen en el ítem de planos y la matriz cuantitativa que se explicó anteriormente, se llega a la conclusión que los impactos positivos (clase +) aparecen con mayores calificaciones en la fórmula de Calificación ecológica y presentan una grado de afectación desde muy alto hasta medio, mientras los impactos de carácter negativo (clase -) presentan los menores valores en la Calificación ecológica o grado de afectación con calificaciones desde bajas a despreciables.



## **10.12 Plan de manejo ambiental**

El Plan de Manejo Ambiental elaborado para el corredor a rehabilitar, se presenta con el fin de causar el mínimo impacto negativo, tratando de resaltar a su vez, los impactos positivos. El presente Plan de Manejo Ambiental define de forma secuencial y cronológica todos los aspectos mitigantes, compensatorios y correctivos que se deben desarrollar durante la realización de la obra.

Para cada una de las actividades previstas durante el mejoramiento y rehabilitación del tramo de vía Puente de la Libertad – El Arbolito (del K17+970 al K19+970), se desarrollan los respectivos programas del Plan de Manejo Ambiental, los cuales se describen a continuación:

### **10.12.1 Programa de educación ambiental.**

#### **10.12.1.1 Justificación**

Este programa pretende crear conciencia en los trabajadores de las comunidades vecinas sobre la protección del medio ambiente en general, procurando también minimizar el impacto ambiental en todas las actividades del proyecto.

#### **10.12.1.2 Objetivos**

Lograr que todas las personas involucradas en el desarrollo del proyecto adquieran una conciencia de protección del medio ambiente y procuren evitar al máximo actividades que generen deterioro ambiental.

#### **10.12.1.3 Impactos a controlar**

Los impactos generados se mitigan o disminuyen con el conocimiento del área y la ética de las personas para generar el menor daño al medio ambiente, por ello se deben adelantar capacitaciones y conferencias para que se establezca un compromiso individual que permita controlar o minimizar los impactos durante la ejecución del proyecto. Para lograr esto se deben dictar charlas de capacitación ambiental al personal y a las comunidades vecinas del proyecto, con el fin de conservar el medio ambiente, mejorar la calidad de vida y motivar con respecto al trabajo en el proyecto del personal en la región, procurando establecer una actitud favorable hacia el proyecto.



#### **10.12.1.4 Tiempo**

Durante la etapa previa a la iniciación de las actividades de construcción del proyecto y cuando se inicie la contratación de mano de obra.

#### **10.12.1.5 Costos**

Ninguno imputable al proyecto.

#### **10.12.1.6 Responsable**

El contratista de la obra.

### **10.12.2 Programa de señalización nocturna y diurna de la obra.**

#### **10.12.2.1 Justificación**

En el desarrollo de obras como las de rehabilitación vial, es indispensable instalar las respectivas señales de prevención, con el fin de proporcionar la seguridad de usuarios de la vía y de los obreros que trabajan en el proyecto.

#### **10.12.2.2 Objetivos**

Indicar al contratista de la obra el cumplimiento de las normas establecidas por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte de acuerdo con la resolución 1937 del 30 de marzo de 1994.



### **10.12.2.3 Impactos a controlar**

Evitar accidentes de tránsito en frentes de trabajo y en sitios que representen algún peligro para los transeúntes y usuarios de la vía en general.

De acuerdo con la resolución 1937/94 se deben establecer como mínimo seis (6) señales en cada frente de trabajo y por lo menos cinco (5) señales en los sitios considerados como peligrosos. Estas señales deben estar localizadas a 200 m antes de cada uno de estos sitios, con avisos sucesivos a medida que se vaya aproximando al sitio de labores, en zonas de curvas la señalización se debe localizar previamente a la obra, desde el inicio de la curva.

La señalización debe estar complementada con conos de colores, canecas y barricadas, de acuerdo con las circunstancias de cada sitio.

Se deben localizar antorchas en la noche, en los frentes de trabajo y puntos donde se presente algún tipo de riesgo para los transeúntes o los conductores; estas antorchas deben permanecer encendidas desde las 18 horas hasta las 6 horas del día siguiente.

Las áreas de trabajo deben estar debidamente demarcadas con cinta reflectiva durante el tiempo que duren las obras del proyecto.

Durante el día se deben localizar dos obreros uno a la entrada del proyecto y otro a la salida, los cuales estarán encargados de dirigir el tráfico vehicular.

### **10.12.2.4 Tiempo de Duración**

Durante el desarrollo de la obra.

### **10.12.2.5 Costos del Programa**

Se estima un costo de \$4.000.000, millones de pesos, durante el desarrollo del proyecto, en los cuales están incluidas las materias primas para las señales preventivas y la reposición de las que se deterioren.

### **10.12.2.6 Responsable**

El contratista de la obra, bajo la supervisión de la interventoría ambiental.



### **10.12.3 Programa de información de la realización del proyecto dirigido a la comunidad cercana al mismo para la contratación de mano de obra.**

#### **10.12.3.1 Justificación**

La mano de obra calificada y no calificada que pueda contratarse en la zona de influencia del proyecto, representa un impacto positivo porque genera ingreso a los habitantes, lo cual mejora de forma temporal su calidad de vida.

#### **10.12.3.2 Objetivo**

La firma constructora deberá informar con anterioridad al inicio de la obra, sobre el desarrollo del proyecto en referencia, para la contratación de la mano de obra, principalmente la no calificada; se deberá informar a las personas que posiblemente vayan a ser vinculadas, las condiciones de trabajo y su duración.

#### **10.12.3.3 Impactos a controlar**

La generación de falsas expectativas entre la población, por la posibilidad de conseguir empleo.

#### **10.12.3.4 Descripción de Actividades**

Información del desarrollo de la obra ante las Juntas de Acción Comunal, para enterar a la comunidad sobre el mismo y la posible contratación de personas de la zona en el desarrollo del proyecto.

Dar claras instrucciones sobre las responsabilidades del personal frente al proyecto y viceversa.

#### **10.12.3.5 Participantes**

Juntas de acción comunal, la firma constructora y/o el contratista del proyecto.



#### **10.12.3.6 Tiempo de Ejecución**

Antes de iniciar el proyecto, durante la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental y cuando el contratista lo requiera durante el desarrollo de la obra.

#### **10.12.3.7 Costos del Programa**

Ninguno imputable al proyecto.

#### **10.12.3.8 Responsable**

El contratista.

#### **10.12.4 Programa de acercamiento, información y comunicación de la realización del proyecto dirigido a la comunidad en general.**

##### **10.12.4.1 Justificación**

El acercamiento y la información que se le brindó a la comunidad ha sido fundamental para el conocimiento y desarrollo del proyecto, al igual que las inquietudes generadas y conceptos obtenidos.

##### **10.12.4.2 Objetivo**

Informar a la comunidad en general sobre el proyecto con todas sus fases y el momento en que se encuentra.

##### **10.12.4.3 Impactos a controlar**

La generación de información distorsionada o errada con respecto a la posibilidad de afectar viviendas o predios.



#### **10.12.4.4 Descripción de Actividades**

Visita y conversación directa con las autoridades municipales, juntas de acción comunal y representantes comunitarios del área rural y urbana. Encuestas realizadas a la comunidad en general.

#### **10.12.4.5 Participantes**

Autoridades municipales, juntas de acción comunal, líderes comunitarios del área urbana y rural, representantes de la comunidad y de instituciones prestadoras de servicios.

#### **10.12.4.6 Tiempo de Ejecución**

Durante la etapa de elaboración del Estudio de Impacto Ambiental.

#### **10.12.4.7 Costos del Programa**

Ninguno imputable al proyecto.

#### **10.12.4.8 Responsable**

El contratista.

### **10.12.5 Programa de limpieza y rocería de las zonas de seguridad de la vía, durante la etapa de realización del proyecto.**

#### **10.12.5.1 Justificación**

Para desarrollar la obra en óptimas condiciones, es necesario realizar una labor de limpieza y rocería a lo largo del trayecto de la vía a rehabilitar.



#### **10.12.5.2 Objetivos**

Limpiar el corredor de la vía a restituir con el fin de mejorar las condiciones de trabajo.

#### **10.12.5.3 Impactos a controlar**

Afectación del paisaje.  
Incremento de accidentes durante el desarrollo del proyecto.

#### **10.12.5.4 Desarrollo de actividades**

Realizar limpieza de bermas, alcantarillas, pontones, poda, nivelación de zonas empedradas, entre otras actividades con el fin de mejorar las condiciones de trabajo y la construcción de las obras a realizar.

#### **10.12.5.5 Participantes**

La firma constructora y/o el contratista.

#### **10.12.5.6 Responsable**

La firma constructora y/o el contratista.

#### **10.12.5.7 Tiempo de Ejecución**

Esta actividad debe desarrollarse antes de dar inicio a las obras del proyecto y tiene una duración aproximada de 3 a 4 meses, ya que se irá avanzando a medida que avance la obra.

#### **10.12.5.8 Costos**

Un millón de pesos (\$1.000.000) por mes, para un total de cuatro millones (\$4.000.000) en un período de cuatro meses.





## **10.12.6 Programa de empradización**

### **10.12.6.1 Justificación**

Se pretende con el desarrollo de este programa hacer parte de la recuperación y estabilización de los taludes inestables más relevantes.

### **10.12.6.2 Objetivos**

Ayudar a recuperar las áreas afectadas por erosión y evitar la remoción de la cobertura vegetal.

### **10.12.6.3 Impactos a controlar**

Generación de erosión.  
Pérdida de material por arrastre del suelo

### **10.12.6.4 Descripción del proyecto**

Empradizar las áreas seleccionadas para el desarrollo de obras de estabilización.

### **10.12.6.5 Participante**

La firma constructora y/o el contratista, mediante la contratación de mano de obra no calificada.

### **10.12.6.6 Costos**

El costo total del programa es de \$ 10.000.000.

### **10.12.6.7 Responsable**

El contratista bajo la supervisión de la interventoría ambiental.



## **10.12.7 Programa de manejo y disposición final de sobrantes**

### **10.12.7.1 Justificación**

Las obras de rehabilitación de la vía existente requieren de un movimiento de tierras y materiales mínimo, de los cuales queda algún remanente; estos sobrantes deben ser dispuestos adecuadamente con el fin de evitar daños al medio ambiente, tales como afectación a cultivos, a zonas de potreros, a bosques de galería, a la población o el represamiento y la contaminación de cuerpos de agua.

### **10.12.7.2 Objetivos**

Evitar daños al medio ambiente por la disposición inadecuada de sobrantes de la rehabilitación de la vía.

### **10.12.7.3 Impactos a Controlar**

Daños en la cobertura vegetal.  
Cambios de uso del suelo inadecuados.  
Contaminación de cuerpos hídricos.  
Afectación en la fauna.  
Afectación a la población.

### **10.12.7.4 Descripción de las actividades**

En primer lugar se tienen planteados 6 sitios para disponer parte del material sobrante. En ningún momento se permitirá el arrojado de material sobrante sobre la ladera, ni sobre los cuerpos de agua.

### **10.12.7.5 Participantes**

La firma constructora y/o el contratista y la interventoría ambiental.



#### **10.12.7.6 Tiempo de ejecución**

Durante el tiempo de duración del proyecto de rehabilitación vial.

#### **10.12.7.7 Costos del programa**

Se ha calculado un valor de \$30.000.000, lo cual incluye las actividades de transporte del material y la conformación de este sobre las zonas a depositar.

#### **10.12.7.8 Responsable**

La firma consultora y/o el contratista, bajo la supervisión de la Interventoría Ambiental.

### **10.12.8 Programa de seguimiento y control de la maquinaria y equipos**

#### **10.12.8.1 Justificación**

Con la implementación de este programa se busca racionalizar el uso de los equipos durante la construcción, optimizando los mismos con un adecuado mantenimiento.

#### **10.12.8.2 Objetivos**

Controlar el estado de la maquinaria y equipos que se utilicen durante el desarrollo del proyecto.

#### **10.12.8.3 Impactos a controlar**

Contaminación atmosférica, suelo y agua.



#### **10.12.8.4 Descripción del programa**

Efectuar seguimiento de las condiciones de operación de los vehículos y equipos, mediante la realización de las siguientes actividades:

Inspeccionar directamente la maquinaria y equipo utilizado en el proyecto.

Exigir que se retire de servicio la maquinaria que no cumpla con las normas vigentes.

Recomendar la utilización de maquinaria con motor turbo-cargado, para la maquinaria que utilice ACPM.

#### **10.12.8.5 Participantes**

Operadores de maquinaria y equipos e interventor ambiental.

#### **10.12.8.6 Tiempo de ejecución**

Durante toda la ejecución del proyecto.

#### **10.12.8.7 Costos del Programa**

Están incluidos en los costos de la Interventoría Ambiental.

#### **10.12.8.8 Responsable**

El contratista bajo la supervisión de la Interventoría Ambiental



## **10.12.9 Programa de seguimiento y monitoreo**

### **10.12.9.1 Justificación**

Con el fin de verificar el cumplimiento adecuado de las medidas de mitigación propuestas en el Plan de Manejo Ambiental, con lo cual se pretende garantizar la conservación, prevención y control de los recursos medioambientales, se propone a continuación el programa desarrollado para tal fin.

### **10.12.9.2 Objetivos**

El programa de seguimiento y monitoreo busca proporcionar herramientas de apoyo, de manera que la interventoría ambiental pueda llevar a cabo la supervisión adecuada de cada una de las actividades de mitigación y compensación propuestas.

### **10.12.9.3 Descripción de las actividades del programa**

Revisar la señalización de las obras y verificar que el tráfico vehicular no sea interrumpido de forma total, siempre deberá permanecer habilitado por lo menos un carril.

Supervisar el manejo de la cobertura vegetal eliminada, durante la limpieza de la franja de protección de la vía.

Verificar el cumplimiento de la Resolución 541/94 del Ministerio del Medio Ambiente, relacionado con el transporte de materiales hasta la zona del proyecto.

Velar porque el personal empleado en el desarrollo del proyecto pertenezca a la zona, por lo menos el utilizado en la ejecución de obras que no requieren de mano de obra calificada.

Supervisar el manejo adecuado del material sobrante.

Solucionar imprevistos de tipo ambiental sucedidos durante el desarrollo de la obra.



Realizar informes de cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental, para presentar ante la autoridad ambiental competente, en este caso CORPOCALDAS.

#### **10.12.9.4 Participantes**

Contratista y/o interventor ambiental.

#### **10.12.9.5 Tiempo de ejecución**

Durante toda el tiempo de ejecución del proyecto.

#### **10.12.9.6 Costos del programa**

Honorarios del Supervisor Ambiental durante el tiempo de ejecución de la obra, \$10.000.000.

#### **10.12.9.7 Responsable**

Interventor Ambiental y/o contratista.

### **10.13 Plan de contingencia**

#### **10.13.1 Justificación**

En el desarrollo de cualquier proyecto, el recurso humano es el más importante, por tal razón se deben tener los planes de contingencia con el fin de saber como reaccionar ante un evento inesperado.



### **10.13.2 Objetivos**

Proporcionar seguridad tanto a los trabajadores de la obra, como a las personas localizadas dentro del área de influencia directa del proyecto.

### **10.13.3 Impactos a controlar**

La ocurrencia de eventos no considerados dentro del Plan de Manejo Ambiental, que puedan amenazar en alguna medida la seguridad humana.

### **10.13.4 Descripción del programa**

Afiliar a todos los trabajadores de la obra a una EPS.

Dotar al personal de elementos indispensables en el desarrollo de labores de este tipo, como son: Casco protector, guantes, tapabocas, botas y tapa-oidos para los operarios de maquinaria y equipos.

Contar con un botiquín completo disponible en el frente de trabajo.

Realizar monitoreo de posibles zonas inestables.

Dictar charlas encaminadas a asegurar la seguridad de los trabajadores.

### **10.13.5 Participantes**

Contratista, personal del contratista e Interventor Ambiental.

### **10.13.6 Tiempo de ejecución**

Durante el tiempo de ejecución de la obra.



### **10.13.7 Costos del programa**

No imputables al proyecto, son inherentes a la contratación del personal.

### **10.13.8 Responsable**

Contratista y/o interventor ambiental.

### **10.14 Plan de manejo del medio biótico**

En este numeral se debe destacar el mínimo impacto al medio biótico que se genera con la realización del proyecto, debido a que ya existe una vía.

### **10.15 Cronograma y costos**

A continuación se presenta un cronograma detallando los tiempos de duración de las diferentes etapas incluidas en el plan de manejo ambiental:





**TABLA 28 CRONOGRAMA DETALLADO DE LAS ETAPAS DEL PLAN DE MANEJO**

ACTIVIDAD	TIEMPO
Programa de educación ambiental	Durante la etapa previa a la iniciación del proyecto y durante la contratación de la mano de obra
Señalización Diurna y Nocturna	Durante el desarrollo de la obra
Programa de acercamiento, información y comunicación del proyecto dirigido a la comunidad	Durante la etapa de elaboración del Estudio de Impacto Ambiental
Información de la realización del Proyecto para contratación de mano de obra	Antes de iniciar el proyecto, durante la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental y cuando el contratista lo requiera
Limpieza y rocería de las zonas de seguridad	Antes del Inicio de las obras y durante el desarrollo de estas
Empradización	De acuerdo a las condiciones que presente el terreno
Manejo y Disposición final de sobrantes	Durante el tiempo de duración del proyecto
Seguimiento y control de la Maquinaria y Equipo	Durante toda le ejecución del proyecto
Seguimiento y monitoreo	Durante la ejecución del proyecto
Plan de Contingencia	Durante la ejecución del proyecto

Los costos de ejecución de plan de manejo ambiental se relacionan a continuación:



**TABLA 29 COSTOS DE EJECUCION DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>UN</b>	<b>CANT.</b>	<b>V/R UNITARIO</b>	<b>V/R TOTAL</b>
Programa de Educación ambiental	GL	1	0	0
Señalización diurna y nocturna	GL	1	4,000.000	4,000.000
Programa de acercamiento a la comunidad	GL	1	0	0
Información sobre contratación mano de obra	GL	1	0	0
Limpieza y rocería	Mes	4	1,000.000	4,000.000
Empradización	GL	1	10.000.000	10,000.000
Manejo y disposición de sobrantes	GL	1	30,000.000	30,000.000
Seguimiento y control de maquinaria	GL	1	0	0
Seguimiento y monitoreo ambiental	GL	1	10,000.000	10,000.000
Plan de contingencia	GL	1	0	0
<b>Total presupuesto</b>				<b>58,000.000</b>



## 11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Desde el punto de vista geológico la vía circula por depósitos de caída piroclástica que son soportados por rocas ígneas de altas consistencias.
- Los mayores problemas observados en el corredor es la ausencia de obras de manejo de aguas de escorrentía a lo largo del corredor y la deficiencia de algunas transversales.
- En lo que tiene que ver con la estabilidad de laderas, no se observan fenómenos de inestabilidad de gran magnitud que comprometan la vía, únicamente se aprecian algunos fenómenos relacionados con deslizamientos planares de poco espesor asociados a la pendiente, a los contactos litológicos y a las lluvias.
- El proyecto no cruza cuerpos de agua ni líneas de drenaje importantes, por lo que el impacto sobre este recurso es prácticamente nulo.
- La componente ambiental del proyecto muestra que los impactos negativos son mitigables fácilmente y no se presenta gran deterioro al medio ambiente. Esto se debe principalmente a que se propone una rectificación vial que no involucra grandes volúmenes de tierra.
- El diseño del pavimento arrojó una estructura convencional de 5 cm. de carpeta asfáltica en caliente, 15 cm. de base y 20 cm. de subbase.



## BIBLIOGRAFÍA

- CARDENAS Grisales, James. Diseño Geométrico de Vías. ECOE ediciones 2000.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Manual de diseño de geométrico. 1998.
- Volúmenes de tránsito 2002. INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.
- CORPOCALDAS, INVIAS. Manual para el control de la erosión. 1999
- MONSALVE Sáenz, Germán. Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería. 1995.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de transito. 1997.
- ROAD NOTE 31 1993.
- Guía metodológica AASTHO. 1994.
- CORPOCALDAS. Plan de Gestión Ambiental Regional para Caldas PGAR 2001-2006. 2001.