

Estudio de Factibilidad de la Vía Terciaria “Puente Quemao” entre K6+523.57 Y K8+894.38 del
Municipio De Toribio Cauca

Stephany Rodríguez Rengifo
Cristian Duván Quintero Méndez
Juan José Soto Rosasco
Camilo Caicedo Espinosa
José Manuel Olaya Cabezas

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Departamento de Ingeniería Civil e Industrial
Proyecto de Grado
Diseño II
2024

Contenido

1.	Resumen	7
2.	Introducción.....	8
3.	Situación problema.....	9
4.	Sistematización.....	10
4.2.	Preguntas secundarias	11
5.	Objetivos	12
5.1.	General.....	12
6.	Justificación.....	12
7.	Marco Referencial	14
7.2.	Marco Teórico.....	15
7.2.1.	Marco Diseño Geométrico.....	15
7.2.2.	Parámetros generales	16
7.2.3.	Especificaciones para el diagnóstico alineamiento horizontal.	17
7.2.4.	Especificaciones para el diagnóstico alineamiento vertical.....	17
7.2.5.	Especificaciones para el diagnóstico de combinación del alineamiento vertical y horizontal	18
7.3.	Marco Teórico estructuras drenantes	19
7.3.1.	Calculo Caudal Máximo	22
7.4.	Marco teórico Geotecnia.....	23
7.4.1.	Ensayos de campo y laboratorio.	23
7.4.2.	Ensayo de penetración normal (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido.....	23
7.4.3.	Humedad natural del suelo.	24
7.4.4.	Análisis granulométrico.....	25
7.4.5.	Límites de Atterberg.....	26
7.4.6.	Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)	27
7.4.7.	Estabilidad de Taludes	27
7.4.8.	Secciones de análisis.....	28
7.4.9.	Presión de poros.....	28
7.4.10.	Sismo de diseño.....	29
7.4.11.	Diseño de estructuras de contención de tierras.....	29
7.5.	Marco teórico estudio predial	30
7.5.2.	Normatividad Vigente	32
7.6.1.	Justificación de un proyecto de mejoramiento para una vía terciaria según el Manual Geométrico de Carreteras.....	38

8.	Metodología.....	40
8.1.1.	Modelación de alternativas Viales en Civil 3D.....	40
8.2.	Estructuras de Drenaje Vial	45
9.2.1	Determinación de la Intensidad de la lluvia (mm/h) en la zona del proyecto	45
9.2.2	Dimensiones Berma-cuenta y Determinación de Caudal de transporte	46
9.2.3	Ubicación de las alcantarillas	47
9.2.4	Sistema de encole y descole	48
9.2.5	Zanjas de coronación.....	49
8.3.	Presupuesto	50
8.4.	Geotecnia	52
8.4.1.	Localización de estructuras de retención de tierra.....	52
8.4.2.	Estudio de suelos	52
8.4.3.	Pre-dimensionamiento de estructuras de contención de tierras	53
8.4.4.	Dimensionamiento final y chequeo de factores de seguridad.....	54
8.4.5.	Análisis de estabilidad en Slide	57
8.5.	Pavimento	58
9.6.	Predial.....	59
9.	Resultados	60
5.1.	Diseño geométrico	1
5.2.	Geotecnia	6
5.3.	Diseño de estructuras drenantes.....	19
5.3.1.	Determinación de la Intensidad de la lluvia (mm/h) en la zona del proyecto.....	19
5.3.2.	Dimensiones Berma-cuenta	24
5.3.3.	Ubicación de las alcantarillas, capacidad de transporte y caudal real.....	24
5.3.4.	Diseño de Zanjas de coronación	28
	Dimensiones y vista aérea de sistema de encole y descole	33
10.	10.4. Diseño del pavimento.....	40
10.4.1.	Espectro de carga para el diseño.....	48
11.	Estudio Predial.	62
12.	Referencias.....	82

Lista de Tablas

Tabla 1: criterios para la velocidad de diseño del tramo en estudio.....	19
Tabla 2: Tamaño de tamices.....	25
Tabla 3: Valores máximo de K_{ST}/a_{max} para el análisis pseudoestatico de taludes.....	29
Tabla 4: Velocidades de Diseño INVIAS.....	42
Tabla 5: Pendiente máxima del corredor INVIAS.....	42
Tabla 6: Pendiente máxima del corredor INVIAS.....	43
Tabla 7: Kmin control visibilidad de parada y longitudes min.....	43
Tabla 8: Ancho de bermas.....	44
Tabla 9: Ancho de la Calzada.....	44
Tabla 10. Coeficiente de escorrentía, Manual de drenajes de carretera.....	47
Tabla 11: Relación H/B para muro en Voladizo.....	53
Tabla 12: Factores de seguridad para el análisis de estabilidad estática.....	55
Tabla 13: Valor de Aa y de Av para las ciudades capitales de departamento.....	56
Tabla 14: Valores del coeficiente Fa para la zona de periodos cortos del espectro.....	56
Tabla 15: Valores del coeficiente de importancia I.....	57
Tabla 16: Matriz de decisión estudio de prefactibilidad.....	1
Tabla 17: Numero de curvas alineamiento horizontal.....	1
Tabla 18: Numero de curvas alineamiento vertical.....	2
Tabla 19: Características del suelo presente en la zona.....	8
Tabla 21. Datos estación Pluviométrica de Toribio.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 22. Parámetros según clasificación de regiones.....	21
Tabla 23. Datos Curva IDF.....	22
Tabla 24. Periodos de retorno para el diseño de obras de drenaje vial.....	23
Tabla 25 Valores de Coeficiente de escorrentía en arras rurales.....	26
Tabla 26. Longitud entre alcantarillas según pendientes.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 27 Capacidad del canal trapezoidal.....	32
Tabla 28. Factor de seguridad Tubería.....	35
Tabla 29: TPDS mensual de la estación maestra.....	41
Tabla 30: Composición vehicular.....	41
Tabla 31: Histograma de carga para ejes sencillos.....	42
Tabla 32: Histograma de carga para ejes Tándem.....	42
Tabla 33: Histograma de carga para ejes Trídem.....	42
Tabla 34: Condiciones Climatológicas de Toribio – Cauca.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 35: Granulometría de la subrasante.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 36: Características propias de la subrasante.....	46
Tabla 37: Granulometría material de subbase.....	46
Tabla 38: Características propias del material de subbase.....	46
Tabla 39. Granulometría material de base.....	47
Tabla 40: Características propias del material de base.....	47
Tabla 41. Espectro de carga para el diseño de volumen de tránsito.....	48
Tabla 42. Proyección del tránsito de la vía Palo Quemao.....	49
Tabla 43: Composición vehicular vía Palo Quemao.....	49
Tabla 44. Número de repeticiones por cada tipo de eje.....	50
Tabla 45. Espectro de carga eje simple.....	50
Tabla 46. Espectro de carga eje tandem.....	¡Error! Marcador no definido.

Tabla 47. Espectro de carga eje tridem	51
Tabla 48. TMM precipitación mensual y anual Toribio, Cauca.....	53
Tabla 49. Factor ambiental subrasante.....	54
Tabla 50. Datos generales MDC-19 y MDC-25.....	56
Tabla 51. Resumen drenaje SBG	59
Tabla 52: Condiciones de drenaje	60
Tabla 53. Mr subrasante y SBG	61
Tabla 54: Ficha Predial.....	65
Tabla 55: Registro Fotográfico Predial.	66
Tabla 56: Registro Fotográfico Predial.	67

Lista de Figuras

Ilustración 1: Secciones típicas de una cuneta	20
Ilustración 2: Tipos de alcantarillas.....	20
Ilustración 3: Tipo de zanja de coronación (contracunetas).....	21
Ilustración 4: Ejemplo de canal natural.....	22
Ilustración 5: Canal de rápidos escalonado.	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 6: Esquema general del equipo de perforación.....	24
Ilustración 7 Ecuación de Manning.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 8 Ecuación racional con B= longitud de Impluvium y L= longitud entre alcantarillas.....	¡Error! Marcador no definido.
Marcador no definido.	
Ilustración 9: Muro en voladizo	53
Ilustración 10: Diagrama de empuje y cargas del suelo	54
Ilustración 11: Planta perfil trazado vial parte 1	3
Ilustración 12: Planta perfil trazado vial parte 2	4
Ilustración 13: Planta perfil trazado vial parte 3	5
Ilustración 14: Sección transversal del perfil vial	6
Ilustración 15: Sección Transversal del tramo K0+260 al K0+300	7
Ilustración 16: Predimensionamiento de un muro en pantalla.	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 17: Representación gráfica Área cuenca	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 18: Distancia entre estación de medición con el municipio de toribio.¡Error!	Marcador no definido.
Ilustración 19: Tipos de ecuaciones para el cálculo de tiempo de concentración;Error!	Marcador no definido.
Ilustración 20: Longitud entre punto inicial del tramo y punto más lejano	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 21: Cálculo del Tiempo concentración por método Giandioti	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 22: Curva IDF estación de Japio, Santander de Quilichao.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 23: Cálculo Caudal Máximo	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 24: Predimensionamiento cunetas	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 25: Cuneta con dimensiones.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 26: Cálculo Caudal de diseño.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 27: Resumen de tránsito	55
Ilustración 28: Espectro de carga	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 29: Localización del predio 1.....	68
Ilustración 30: Localización del predio 2.....	68
Ilustración 31: Localización del predio 3.....	69
Ilustración 32: Localización del predio 4.....	69
Ilustración 33: Localización del predio 5.....	70
Ilustración 34: Localización del predio 6.....	70
Ilustración 35: Localización del predio 7.....	71
Ilustración 36: Localización del predio 8.....	71
Ilustración 37: Localización del predio 9.....	72

1. Resumen

El siguiente proyecto de mejoramiento de la red vial terciaria "Puente Quemao" del municipio de Toribio Cauca tiene por objeto la elaboración de los estudios y diseños de factibilidad del tramo rural comprendido entre el municipio Toribío y la vereda El Tablazo comprendido entre K6+523.57 Y K8+894.38, el cual busca entregar un insumo a la Alcaldía municipal para la elaboración de la infraestructura vial bajo los requerimientos del manual de INVIAS y así potenciar el desarrollo vial y económico de esta zona del departamento del Cauca.

Palabras clave: Intervención de la red vial terciaria, Puente Quemao, Factibilidad, Infraestructura vial.

Abstract

The following project of reconsideration of the tertiary road network "Puente Quemao" of the municipality of Toribio Cauca is aimed at the elaboration of feasibility studies and designs of the rural section between the municipality of Toribio and the village of El Tablazo between K8+750 and K11+604, which seeks to provide an input to the municipal mayor's office for the development of road infrastructure under the requirements of the INVIAS manual and thus enhance the road and economic development of this area of the department of Cauca.

Keywords: Intervention project of the tertiary road network, Puente Quemao, Prefeasibility, Feasibility, Road infrastructure.

2. Introducción

Toribio es un municipio del departamento del Cauca que pertenece a la región pacífica de Colombia, caracterizándose por tener una gran biodiversidad, la cual es un “potencial turístico, portuario, forestal, hídrico y minero” (Marmolejo, 2019, p.12). Sin embargo, a pesar de los recursos mencionados anteriormente, este municipio presenta problemas de pobreza y desigualdad social dado a sus problemas de infraestructura y desarrollo.

De acuerdo con la Resolución 07950-11-2021 de la gobernación del departamento del Cauca, lograr una provisión eficiente de los servicios de infraestructura es un aspecto fundamental en su política de desarrollo departamental. Por esta razón, dado que los municipios pertenecientes al departamento del Cauca no tienen un gran desarrollo territorial, es indispensable la gestión de proyectos de factibilidad que promuevan el incremento de inversiones en obras de infraestructura vial, así como para lograr mayores niveles de cobertura vial a nivel departamental y satisfacer con eficacia las necesidades sociales y económicas del sector, contribuyendo al mejoramiento de la competitividad y calidad de vida de los habitantes del municipio de Toribio y las veredas que conectan con la vía “Puente Quemao”.

En este sentido, debido a que las vías son herramientas de desarrollo social y económico de un territorio, porque al conectar permite que la población tenga accesibilidad y así pueda suplir satisfactoriamente sus necesidades, se ha generado un incremento significativo en la demanda de estructuración y ejecución de proyectos en los municipios del departamento del Cauca a cargo de la Secretaría de Infraestructura, con énfasis en las etapas de factibilidad, situación que permite resolver asertivamente el problema de conexión de la vía “Puente Quemao” entre Toribio y las veredas aledañas.

3. Situación problema

Las vías terciarias de carácter rural que conectan a veredas con el municipio de Toribio, en el departamento del Cauca Colombia, presentan una evidente falta de intervención e incluso carencia de infraestructura vial que ponen en riesgo la seguridad, movilidad y comodidad de los habitantes que transitan por este sector, siendo en este contexto la vía “Puente Quemao” altamente susceptible a accidentes como consecuencia a las condiciones viales, inundaciones y fenómenos de remoción de masa como los deslizamientos. Estas condiciones mencionadas, no contribuyen al desarrollo y competitividad del departamento, al afectar el crecimiento económico en este sector por no permitir la interconexión entre las veredas y el municipio de Toribio.

Por esta razón, se requiere de una propuesta de mejoramiento de la red vial terciaria del municipio, para mejorar la accesibilidad de esta zona y potencializar el desarrollo local y la competitividad departamental.

4. Sistematización

4.1. Pregunta principal

¿Cómo el diseño de la fase III de la vía terciaria Puente Quemado en el municipio de Toribio Cauca, beneficia al desarrollo económico y social de la comunidad rural?

El diseño de la fase III de la vía terciaria “Puente Quemado” en el municipio de Toribio, Cauca, tiene como objetivo mejorar el desarrollo económico y social de la comunidad rural. Intentando optimizar la conectividad, la seguridad y que la accesibilidad traiga beneficios a la comunidad.

La implementación de esta vía principalmente traerá beneficios económicos al municipio de Toribio, de distintas maneras, principalmente según la Encuesta Nacional Logística en un estudio que se hizo en el año 2020, se pudo presenciar que dentro de los componentes del costo logístico está el transporte siendo este el mayor para el año 2023, con un porcentaje de 35.9, y esto es debido a distintas causas, pero la principal con un 53.1% según un gráfico de la Encuesta Nacional Logística es el deterioro de las vías por desgaste. Esto realizará una mejora en la ruta que toman los comerciantes con el fin de que sea más sencillo su transporte de un municipio a otro.

Por otra parte, la implementación de la vía unirá el municipio de Toribio con otros municipios y como explica Verónica Raffo, experta en infraestructura del Banco mundial “ La creación de buenas infraestructuras, de espacios públicos de calidad y de medios de transporte que lleguen a los más vulnerables y excluidos de la sociedad es esencial para reducir los niveles de desigualdad y de pobreza que tenemos en la región” (Banco Mundial, 2016), siendo otros de los factores que más se pueden presentar en la zona, debido a que no está en el radar del gobierno y se va olvidando para el estado.

La implementación de la fase III de una vía, se puede entender cómo iniciar la construcción de esta misma al ser aprobada por lo que esto va a generar más empleos en la zona mientras se está construyendo. Y la construcción de una vía no es algo que necesite pocas personas para que el proyecto pueda cumplir los plazos que se tienen pensado, por lo que según el INVIAS en el proyecto de la doble calzada Loboguerrero – Buenaventura, se generaron 1339 personas, siendo este el máximo de producción. Por lo que se puede

generar mucho empleo que ayuda a lo ya mencionado anteriormente por Verónica Raffo, esto genera que la desigualdad y la pobreza en el municipio disminuya.

Otro factor que se puede presenciar con la implementación de la vía es el turismo en el municipio. Actualmente la situación en Toribio no es la mejor por temas de seguridad debido a que se encuentran en la zona grupos armados y están realizando hostigamientos al ejército por lo que no está de la mejor manera, sin embargo existen casos donde la violencia era lo primordial y actualmente este sitio, se ha convertido en unos de los más visitados, tanto por extranjero como local, por lo que toribio puede ser igual que esta ciudad, sin embargo se deben implementar más controles de seguridad y buscar una manera de generar la paz entre el gobierno y las fuerzas armadas.

4.2. Preguntas secundarias

1. ¿Modernizar la vía terciaria “Puente Quemao” mejoraría el desarrollo social, económico y turístico del sector?
2. ¿Al realizar esta obra de infraestructura vial aumentará la competitividad del municipio de Toribio y el departamento del Cauca?

5. Objetivos

5.1. General

Realizar el diseño de detalle fase III de la vía terciaria “Puente Quemao” ubicada en el sector rural del municipio de Toribio K6+523.57 Y K8+894.38, en el departamento del Cauca.

5.2. Específicos

1. Realizar el levantamiento topográfico para su representación a escala en planos de diseño.
2. Elaborar los diseños geométricos detallados para la materialización del proyecto aplicando la norma “Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008”.
3. Diseñar las obras de infraestructura en los componentes de pavimentos, sistemas hidráulicos, geotecnia y estudio predial necesarios para el mejoramiento de la red vial terciaria “Puente Quemao”.
4. Detallar la planeación y presupuesto definitivo de la obra de infraestructura.

6. Justificación

La justificación de la construcción de esta vía terciaria recae en la dimensión económica del municipio pues gira en torno a la agricultura. Según datos de la UMATA, durante el periodo de 2012-2015, se produjo un promedio de 2961.5 toneladas de producción agrícola (café, gulupa, mora, lulo, tomate de árbol, tomate de mesa, trucha Arco iris, entre otras). Productos de suma importancia para el desarrollo del municipio y es por esta razón que es necesario un corredor vial que permita distribuir dichos productos de manera segura, rápida y rentable.

Otro argumento que contribuye a la justificación del mejoramiento vial se encuentra en el artículo 1 del Decreto 893 de 2017, donde se creó los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET) , como un instrumento de planificación y gestión para implementar de manera prioritaria los planes sectoriales y programas en el marco de la Reforma Rural Integral (RRI). Donde el municipio de Toribio es un actor fundamental en dichos programas demostrando su compromiso al establecer como prioridades los

tratados y reformas en el “Plan de desarrollo Municipal 2020-2023”. Es por ello que asegurar una conectividad vial que mejore el acceso a servicios básicos como la educación, la salud y la asistencia social, contribuya a facilitar el proceso de construcción de paz y desmovilización de los grupos armados.

Como última justificación del proyecto se toma como referencia un documento de la alcaldía municipal de Toribío (2015), llamado “La estrategia Municipal para la respuesta de emergencias”, donde promueve los procesos y procedimientos de atención inmediata y futura de emergencias que se presentan por los escenarios de riesgo. Este documento identifica como escenario de riesgo municipal, la infraestructura vial por deslizamientos de tierras por la inestabilidad de taludes, justificando así el mejoramiento de la vía “Puente Quemao”.

7. Marco Referencial

7.1. Marco Conceptual

Para el siguiente trabajo se emplearán los siguientes conceptos, estos han sido tomados de INVIAS (2018) “Glosario de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras”:

- **Angulo de deflexión:** Es el ángulo formado cuando se prolonga uno de los alineamientos rectos y el siguiente. Esta prolongación se puede dar a la derecha y a la izquierda.
- **Radio de Giro:** Es la medición que se hace para determinar la capacidad de un determinado vehículo para girar.
- **Peralte:** Es la diferencia de alturas entre la parte exterior y la interior de una carretera, vía o curva.
- **Eje:** Es la línea que atraviesa un cuerpo en su centro geométrico y se divide en el sentido de su máxima dimensión.
- **Calzada:** Zona de la carretera destinada al flujo vehicular. Por lo general se encuentra acondicionada o pavimentada por algún tipo de sustancia afirmada.
- **Velocidad de diseño:** Velocidad guía o de referencia de un tramo homogéneo de carretera, que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de seguridad y comodidad.
- **Corona:** Es el conjunto que conforma las bermas y la calzada.
- **Cuneta:** Zanjas, revestidas o no, construidas paralelamente a las bermas, destinadas a facilitar el drenaje superficial longitudinal de la carretera. Su geometría puede variar según las condiciones de la vía y del área que drenan.
- **Curva de Transición:** Son aquellas que proporcionan una transición o cambio gradual en la curvatura de la vía, desde un tramo recto hasta una curvatura de grado determinado, o viceversa. Son ventajosas porque mejoran la operación de los vehículos y la comodidad de los pasajeros,

por cuanto hacen que varíe en forma gradual y suave, creciente o decreciente, la fuerza centrífuga entre la recta y la curva circular, o viceversa.

- Curva horizontal: Trayectoria que une dos tangentes horizontales consecutivas. Puede estar constituida por un empalme básico o por la combinación de dos o más de ellos.
- Curva vertical: Curvas utilizadas para empalmar dos tramos de pendientes constantes determinadas, con el fin de suavizar la transición de una pendiente a otra en el movimiento vertical de los vehículos; permiten la seguridad, comodidad y la mejor apariencia de la vía. Casi siempre se usan arcos parabólicos porque producen un cambio constante de la pendiente.

7.2. Marco Teórico

7.2.1. Marco Diseño Geométrico

Con base al marco conceptual presentado con anterioridad se postulan los siguientes parámetros, esta información ha sido obtenida de INVIAS (2016) “Clasificación de las de Carreteras”:

- Clasificación de las carreteras: Según su funcionalidad, su terreno y la necesidad operacional estos se clasifican en:
- Primarias: Son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países. Este tipo de carreteras pueden ser de calzadas divididas según las exigencias particulares del proyecto. Las carreteras consideradas como Primarias deben funcionar pavimentadas.
- Secundarias: Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria. Las carreteras consideradas como secundarias pueden funcionar pavimentadas o en sentido afirmativo.
- Terciarias: Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Las carreteras consideradas como terciarias deben funcionar en afirmado.

En caso de pavimentos deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías secundarias.

7.2.2. Parámetros generales

A continuación, se mencionan algunos Parámetros generales para el diagnóstico del estado de vías, esta información fue recopilada de INVIAS (2006) “Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles”:

1. Se debe regir a los criterios de diagnóstico correspondiente a vías. Instituto Nacional de Vías, Manuales de inspección visual de Carreteras.
2. Las carreteras se clasifican en función del número de calzadas, la dimensión del carril de la calzada o la dimensión del arcén. Cuanto mayor sean las dimensiones de la vía, más tráfico podrá soportar y más exigentes serán los parámetros de trazado, es decir, será necesario realizar radios mayores de curva, acuerdos verticales más extendidos o peraltes más inclinados. Al aumentar estos parámetros la carretera se ajustará menos al terreno, lo que encarece la carretera.
3. En las autopistas norteamericanas interestatales, una velocidad límite es de 120 km/h cubre los más altos percentiles de la distribución normal de las velocidades observadas, en Colombia la máxima velocidad directriz o de diseño alcanza los 110 Km/h.
4. Para que el conductor lleve a cabo maniobras satisfactorias, como esquivar obstáculos, detenciones a tiempo, adelantamientos o incorporación a otras vías la distancia de visibilidad debe ser óptima y está según los rangos de velocidad del proyecto (Ministerio de fomento 2000, AASHTO,2004; FGSV; 2012).
5. La separación de los sentidos de circulación debe ser la estipulada en la norma INVIAS. Los índices de siniestralidad en carreteras de doble sentido suelen ser entre 2 y 4 veces mayores a los de las autopistas.
6. Estado del terreno. Desde perspectivas como la resistencia al deslizamiento cuando el terreno esté mojado hasta defectos graves de uniformidad en el terreno.

7. Estado de los márgenes. Uno de los accidentes más concurrente son la salida de la vía, por lo que es imperante que los márgenes de la calzada se encuentren libres de obstáculos pueden llegar a ocasionar daños graves al ser impactados por un usuario.

7.2.3. Especificaciones para el diagnóstico alineamiento horizontal.

- a) Las tangentes muy prolongadas pueden llegar a ser inseguras, sobre todo para carreteras con altas velocidades. Esto se logra evitar sustituyendo dichas tangentes por otras de menor longitud unidas por curvas suaves.
- b) El grado de las curvas circulares se debe elegir de manera que se ajuste lo mejor posible al terreno. En general será el menor posible para permitir el mayor flujo del tránsito, pero sin perder de vista el costo de construcción.
- c) Es necesario evitar en lo máximo cambios bruscos en el alineamiento horizontal. Ya que, al pasar de una tangente larga a una curva, esta debe de ser de giros mínimos, si el proyecto comprende un tramo sinuoso entre 2 puntos con óptimo alineamiento se procurará que el rango de curvas vaya creciendo escalonadamente hacia las curvas de mayor rango usadas en el tramo sinuoso.
- d) El alineamiento debe ser direccional tanto como sea pueda, sin dejar de ser lógico con la topografía, adaptada al terreno es preferible a otro con tangentes largas, pero con repetidos cortes y terraplenes.

Es conveniente evitar las curvas circulares compuestas y las curvas consecutivas en el mismo sentido.

7.2.4. Especificaciones para el diagnóstico alineamiento vertical.

- a) Se proyectarán alineamientos con cambios de pendientes suaves, en cambio de tangentes verticales con variaciones bruscas de pendientes.

- b) Para salvar desniveles apreciables, se debe procurar establecer las pendientes mayores al inicio del ascenso.
- c) Es preferente un perfil escalonado, en lugar de una pendiente sostenida.
- d) El alineamiento vertical deberá tener en cuenta el espacio para disponer las obras de drenaje u otras estructuras que se requieran.
- e) Los alineamientos verticales que tienen constantemente curvas demasiado pronunciadas en cresta y en columpio, suelen presentarse en alineamientos horizontales rectos en donde el alineamiento vertical sigue sensiblemente el perfil del terreno, resultando caminos antiestéticos y peligrosos en las maniobras de rebase.
- f) Se debe evitar en la gran mayoría del proyecto curvas verticales sucesivas con la misma concavidad o convexidad, con tangentes intermedias muy cortas.
- g) Cuando el terreno lo permita y no se incremente el costo de construcción las curvas verticales deberán proyectarse para poder satisfacer las distancias de visibilidad de rebase.

7.2.5. Especificaciones para el diagnóstico de combinación del alineamiento vertical y horizontal

- a) En alineamientos verticales que originan terraplenes altos y largos son deseables alineamientos horizontales rectos o de muy suave curvatura.
- b) Los alineamientos horizontal y vertical deben estar balanceados. Las tangentes o las curvas horizontales suaves en combinación con pendientes fuertes y curvas verticales cortas, o bien una curvatura excesiva con pendientes suaves corresponden a diseños pobres.
- c) Cuando el alineamiento horizontal está constituido por curvas con grados menores al máximo, se recomienda proyectar curvas verticales con longitudes mayores que las mínimas especificadas, siempre que se incremente el costo de construcción de la carretera.
- d) Conviene evitar la coincidencia de la cima de una curva vertical en cresta con el inicio o terminación de una curva horizontal.

Tabla 1: criterios para la velocidad de diseño del tramo en estudio.

Fuente: Manual de Diseño geométrico de carreteras, INVIAS 2018.

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

7.3. Marco Teórico estructuras drenantes

Para la construcción de una vía, el drenaje vial es uno de los conjuntos de obras de ingeniería que tienen como objetivo recolectar, conducir y evacuar las aguas de escorrentía superficiales y subterráneas, evitando que causen daños a la infraestructura vial y a los terrenos adyacentes.

Los drenajes principales tienen dos clasificaciones principales, estas clasificaciones son drenajes longitudinales y los drenajes transversales.

Cuando se habla de los drenajes longitudinales; son aquellos que se desarrollan a lo largo de la vía, paralelos al eje de esta. Su función principal es recoger las aguas de escorrentías que provienen de la calzada, los taludes y las zonas aledañas. Los drenajes longitudinales más comunes son las cunetas y alcantarillas.

Los drenajes transversales, son aquellos que se desarrollan perpendicularmente al eje de la vía. Tienen como función la recolección de las aguas de escorrentías que provienen de los taludes y las de zonas aledañas, y son conducidas hacia los drenajes longitudinales. Los drenajes transversales más comunes son las zanjas de coronación y los canales.

Como se mencionó anteriormente en cada drenaje, existen distintos tipos de construcciones para cumplir con las funciones que tienen estos mismos. Algunas de estas van a ser explicadas más a fondo, estas son las cunetas, alcantarillas, zanjas de coronación y los canales.

Las cunetas son canales abiertos que se construyen a los costados de la vía con la finalidad de recolectar las aguas de escorrentías que provienen de la calzada. Estas cunetas tienen dos clasificaciones principales, que son;

Cuentas de base, estas son construidas con una sección en forma de “V” o “U”, mientras que las cunetas de coronación se construyen con una sección en forma de “T”. Esto se puede observar en la Ilustración 9.

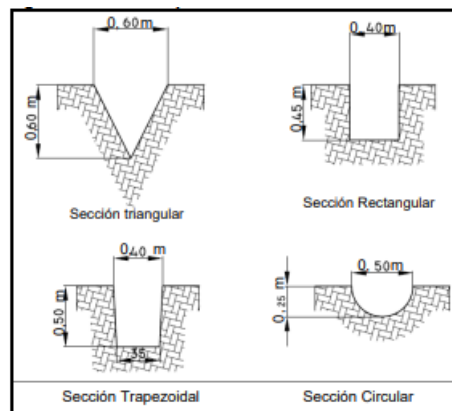


Ilustración 1: Secciones típicas de una cuneta

Las cunetas deben cumplir con una pendiente adecuadas para que las aguas que fluyan por estas sin ninguna complicación, las pendientes recomendadas son 2% y 5%.

Las alcantarillas, son estructuras que se construyen bajo la vía para recolectar y conducir las aguas de escorrentías que provienen de las cunetas. Estas tienen dos clasificaciones, las simples y las múltiples, como se observa en la Ilustración 10.

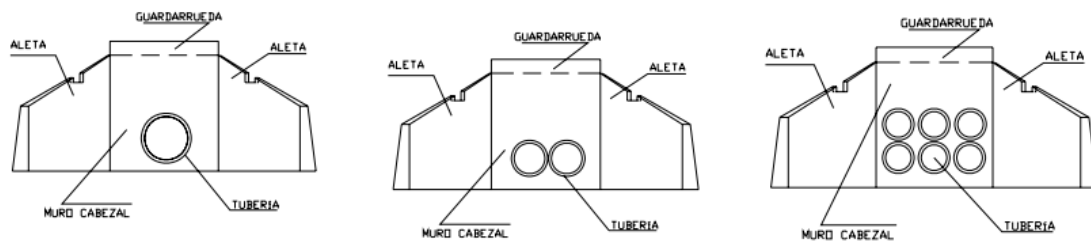


Ilustración 2: Tipos de alcantarillas

Cuando se habla de una alcantarilla simple, se habla de una alcantarilla compuesta por una tubería que es colocada bajo la vía, por otro lado, están las múltiples que como su nombre lo dicen tienen varias tuberías que son colocadas bajo la vía. Estas alcantarillas deben tener una sección transversal adecuadas para que puedan conducir el caudal de agua esperado.

Otro tipo de construcción son las zanjas de coronación, estos son canales abiertos que son construidos en la parte superior de los taludes de la vía. La finalidad de estas zanjas son recolectar las aguas de escorrentías que provienen de los taludes. Se tiene dos clasificaciones de este tipo de construcción, las sencillas y con rejilla, en la Ilustración 3 se puede observar los tipos de zanjas de coronación.

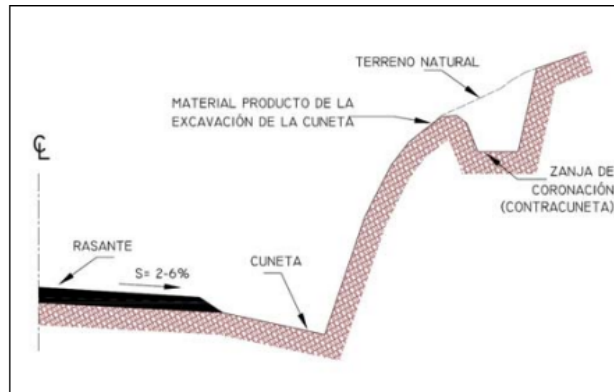


Ilustración 3: Tipo de zanja de coronación (contracunetas)

Las zanjas de coronación sencillas son aquellas que son construidos en forma de “V” o “U”, mientras que las zanjas de coronación con rejillas son aquellas que son construidas en “T”, y adicionalmente tiene una rejilla que impide que ingresen a esta.

Para realizar una zanja de coronación, están deben tener una pendiente entre el 2% y el 5%, para que el agua fluya sin ningún problema y no se presenten obstáculos dentro de ellas.

Los canales son estructuras que se construyen con el fin de recolectar, conducir y evacuar las aguas de escorrentías que provienen de las zonas aledañas a la vía. Estos canales se pueden clasificar en dos tipos, los naturales o los superficiales

Los canales naturales son aquellos que se encuentran en el terreno natural y se utilizan para el drenaje de las aguas, para un ejemplo pueden ver la Ilustración 12, mostrada a continuación; mientras los artificiales son construidos por los ingenieros, con la misma función.



Ilustración 4: Ejemplo de canal natural

7.3.1. Cálculo Caudal Máximo

El caudal máximo es la cantidad máxima de agua que puede fluir por un canal o tubería en un periodo de tiempo determinado. Es un parámetro importante en el diseño de sistemas de drenaje porque permite garantizar que el sistema sea capaz de evacuar el agua de lluvia sin desbordarse. El caudal máximo se puede calcular utilizando diferentes métodos, como el método racional, el método de los hidrogramas unitarios o el método de la fórmula de SCS. El método más adecuado para calcular el caudal máximo depende de los datos disponibles y de la precisión requerida. Para este caso en específico, teniendo en cuenta los datos disponibles se procedió a calcular el caudal por el método Racional. (Ver Ecuación 1)

$$Q_p = CiA \quad [1]$$

Donde:

- Q_p : Caudal de Máximo o Caudal pico
- C : Coeficiente de escurrentía

- i : Intensidad de precipitación en milímetro por segundo (mm/h)
- A : Área de la cuenca en Kilómetros cuadrados (Km²)

7.4. Marco teórico Geotecnia

En toda obra de construcción es indispensable garantizar el adecuado comportamiento, protegiendo así la integridad y seguridad de las personas, predios e instalaciones de servicio público, para lograr esto se deben realizar diferentes tipos de estrategias de reconocimiento en campo y sobre todo investigación del subsuelo, ya que este adquiere gran importancia en un proyecto de infraestructura vial.

7.4.1. Ensayos de campo y laboratorio.

Los ensayos de laboratorio son muy importantes para determinar las características mecánicas y físicas del suelo donde se va a construir. Por otra parte, los ensayos in-situ permiten medir parámetros del terreno inalterado.

7.4.2. Ensayo de penetración normal (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido

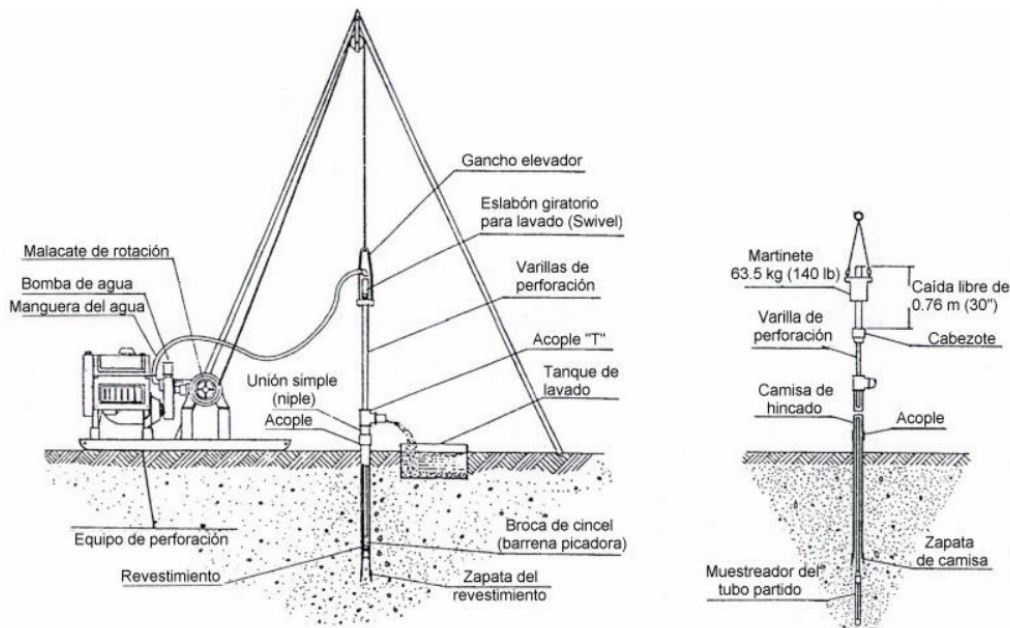
Este método describe el procedimiento generalmente conocido como Ensayo de Penetración Normal (Standard Penetration Test - SPT), para penetrar un muestreador de tubo partido con el fin de obtener una muestra representativa del suelo y una medida de la resistencia de dicho suelo, a la penetración del muestreador (INV E – 111, 2012).

Este ensayo de campo es uno de los más utilizados hoy en día, debido a lo sencillo que es llevarlo a cabo y a la rapidez con que se realiza, además de esto su bajo costo permite disminuir de manera considerable la ejecución del componente geotécnico en una obra de infraestructura vial. A partir de este método de ensayo se pueden obtener muestras alteradas de

suelo que permitan determinar la humedad del terreno y sobre todo la clasificación de este. En la Ilustración 6 se puede observar de manera clara el mecanismo de este ensayo.

Ilustración 5: Esquema general del equipo de perforación

Tomado de: norma INV E – 111



7.4.3. Humedad natural del suelo.

Es una relación que existe entre la cantidad de agua presente en una determinada cantidad de suelo que hay en un terreno. este ensayo se realiza de la siguiente manera:

La aplicación práctica de la determinación del contenido de agua en un material es conocer la masa del agua removida al secar dicho material cuando está húmedo (espécimen de prueba) hasta constante, en un horno controlado a $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{ F}$); y usar este valor como la masa del agua en el espécimen de prueba. La masa del material remanente después de secado en el horno corresponde a la masa de las partículas sólidas. El contenido de agua se calcula relacionando la masa de agua en la muestra húmeda con la masa de la muestra seca (INV E – 122, 2012).

El contenido de agua de un suelo se calcula mediante la Ecuación 2.

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad [2]$$

Donde:

- w: Contenido de agua, (%)
- W1: Masa del recipiente con suelo húmedo, (g)
- W2: Masa del recipiente con suelo seco, (g)
- Wc: Masa del recipiente, (g)
- Ww: Masa del Agua, (g)
- Ws: Masa de las partículas sólidas, (g)

7.4.4. Análisis granulométrico

Este análisis se basa principalmente en la determinación de proporciones de suelo en estado seco (Ws) que pasa a través de una serie de tamices previamente gradados. El tamaño de orificio de estos tamices se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Tamaño de tamices

75 mm (3")	2 mm (N°10)
50 mm (2")	850 μm (N°20)
37.5 mm (1 ½")	425 μm (N°40)
25 mm (1")	250 μm (N°60)
19 mm (¾")	106 μm (N°140)
9.5 mm (3/8")	75 μm (N°200)
4.75 mm (N°4)	

7.4.5. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg fueron desarrollados a principios del siglo XX por un científico sueco, llamado Albert Atterberg. Este científico, llevó adelante una extensa investigación sobre las propiedades de consistencia de suelos de grano fino, la cual es la base de nuestra comprensión actual sobre la manera en que el agua influye en la plasticidad de este tipo de materiales.

Atterberg definió varios límites de comportamiento para suelos de grano fino, y desarrolló pruebas manuales para definirlos.

- Límite Líquido

Se define como “el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico” (INV E – 125,2012).

- Límite Plástico

El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado por este procedimiento, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo. (INV. E – 126,2007)

- Índice de plasticidad

El contenido de agua varía donde el suelo se comporta plásticamente. IP es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico como se observa en la Ecuación 2.

$$IP = LL - LP \quad [3]$$

7.4.6. Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)

Este método de ensayo está proyectado, aunque no limitado, para la evaluación de la resistencia de materiales cohesivos que contengan tamaños máximos de partículas de menos de 19 mm (3/4"). Este método de prueba se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base, incluyendo materiales reciclados para empleo en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles. Cuando se van a ensayar materiales con contenidos máximos de tamaños de partículas mayores de 19 mm (3/4"), este método de ensayo provee la forma de modificar la gradación del material, de manera que el usado para las pruebas pase todo por el tamiz de 19.0 mm (3/4") a la vez que mantiene constante la fracción del total de la grava entre 75 mm (3") y 4.75 mm (No.4). Aunque tradicionalmente este método de preparación de especímenes ha sido empleado para evitar el error inherente en la prueba de materiales que contienen partículas gruesas en el equipo de prueba de CBR, el material modificado puede tener propiedades de resistencia significativamente diferentes a las del material original. Sin embargo, una gran base de experiencia se ha desarrollado usando este método para materiales en los cuales la gradación ha sido modificada y están en uso métodos satisfactorios de diseño, basados en los resultados de pruebas usando este procedimiento (IN. V E – 148 -07, 2012).

7.4.7. Estabilidad de Taludes

La estabilización de taludes es parte fundamental de cualquier obra de infraestructura vial, ya que mediante este análisis se pueden crear soluciones prácticas a diferentes problemas geotécnicos de tal modo que dicha solución optimice recursos y prevenga futuros problemas que afecten directamente la red vial. Dependiendo de la amenaza que pueden presentar los taludes a la vía, se hace necesario diseñar y construir obras civiles que permitan su adecuada estabilidad.

Para los análisis de estabilidad de laderas naturales ó intervenidas y taludes de excavación, se deben tener en cuenta la geometría del terreno antes y después de cualquier intervención constructiva, la distribución y características geomecánicas de los materiales del subsuelo que conforman el talud, las condiciones hidrogeológicas e hidráulicas, las sobrecargas de las obras vecinas, los sistemas y procesos constructivos y los movimientos sísmicos (NSR-10, Capítulo H-5, 2010).

7.4.8. Secciones de análisis

Para los análisis de estabilidad se requiere contar con un modelo geológico-geotécnico que contenga al menos una sección transversal del terreno que incluyendo la localización y características de la edificación, represente razonablemente la topografía de la superficie del talud, en dónde éste sea más alto o más empinado, la distribución de los materiales en profundidad, las condiciones del agua subterránea y la localización de sobrecargas, que definan el o los mecanismos de falla que se deban considerar para los análisis de estabilidad. Cuando la irregularidad morfológica o litológica del terreno así lo indique, se requerirá contar con por lo menos una sección en cada zona homogénea definida en el modelo del área de estudio, en donde a criterio del ingeniero geotecnista, exista probabilidad cinemática de que se presenten procesos de inestabilidad. (NSR-10, Capítulo H-5, 2010).

7.4.9. Presión de poros

Para el análisis y diseño de taludes, se debe evaluar el efecto del agua en la reducción de la tensión efectiva y la resistencia al corte del suelo, incluidas consideraciones sísmicas.

7.4.10. Sismo de diseño

Para efectos del análisis y diseño de taludes, se debe emplear la aceleración máxima del terreno, a_{max} obtenida bien sea de un espectro (aceleración del espectro de diseño para periodo cero) o por medio de análisis de amplificación de onda unidimensionales o bidimensionales, correspondiente a los movimientos sísmicos. En caso de que el sitio objeto de análisis haga parte de un estudio de microzonificación sísmica aprobado, se utilizará la aceleración máxima superficial del terreno establecida en el espectro de diseño respectivo en lugar de lo estipulado en la sección A.2. El coeficiente sísmico de diseño para análisis seudoestático de taludes K_{ST} tiene valor inferior o igual al de a_{max} y se admiten los siguientes valores mínimos de K a ST_{Max} , dependiendo del tipo de material térreo (reforzado o no) y del tipo de análisis (NSR-10, Capítulo H-5, 2010).

A continuación, en la Tabla 3 se observan los valores máximos de K_{ST} y a_{max} para el análisis seudoestático de taludes, según el tipo de suelo tratado.

Tabla 3: Valores máximo de K_{ST}/a_{max} para el análisis seudoestático de taludes.

Fuente: Norma sismorresistente colombiana (NSR-10)

Material	K_{ST}/a_{max} Mínimo	Análisis de Amplificación Mínimo
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

7.4.11. Diseño de estructuras de contención de tierras

En el diseño de estructuras de contención se deben tener en cuenta las condiciones externas a que puede estar sometida, tales como las sobrecargas por otras estructuras, los procesos de construcción, las presiones hidrostáticas, las cargas de anclaje, las cargas de tráfico, las características del relleno, el sistema de drenaje, procesos de socavación o de oleaje (en vecindad de cuerpos de agua), efectos sísmicos y efectos de temperatura. También debe tenerse en cuenta el

tiempo de servicio esperado de la estructura. Las fuerzas actuantes sobre un muro de contención se considerarán por unidad de longitud. Las acciones que se deben tomar en cuenta, según el tipo de muro serán: el peso propio del muro, el empuje de tierras, la fricción entre muro y suelo que contiene, el empuje hidrostático o las fuerzas de filtración en su caso, las sobrecargas en la superficie del relleno y las fuerzas sísmicas. Los empujes desarrollados en condiciones sísmicas se evaluarán. (NSR-10, Capítulo H6, 2010).

7.5. Marco teórico estudio predial

Para elaborar esta parte del trabajo, se emplearon diferentes conceptos y parámetros, estos han sido tomados de la Agencia Nacional de Infraestructura ANI (2013) “ Gestión y Adquisición Predial- Apéndice F”. Toda la información que se presenta a continuación en este numeral (13.1), es obtenida de la fuente citada anteriormente.

7.5.1. Obligaciones Generales de la Gestión Predial

De manera general y sin perjuicio de las demás obligaciones que a cargo del Concesionario y en materia de Gestión Predial se detallan en el Contrato –tanto en la Parte General como en la Parte Especial– así como en el presente Apéndice, serán obligaciones del Concesionario:

- a) Conformar o contratar un grupo de profesionales de gestión predial, tanto para la elaboración de los insumos prediales como para el desarrollo de la enajenación voluntaria y la expropiación, que cumpla con perfiles adecuados en cuanto a idoneidad, competencia y experiencia en la adquisición de predios para proyectos de infraestructura, en zonas urbanas y rurales.
- b) Realizar la demarcación o materialización de los linderos del área a adquirir para el Proyecto, con base en la Ficha Predial definitiva. En todo caso esta demarcación se realizará antes de adelantar la Oferta Formal de Compra.
- c) Una vez el Predio sea entregado por el propietario, realizar el cercado del área adquirida, bajo su propio costo y riesgo, de tal manera que, al concluir el proceso de adquisición de los Predios,

el corredor vial a lado y lado quede delimitado mediante una cerca que cumpla con las especificaciones descritas en el Manual del INVIAS. Las Áreas Remanentes adquiridas deberán ser incorporadas al Corredor del Proyecto, y por lo mismo incluidas en el cercado que del mismo se realice.

- d) Adelantar todas las demoliciones de la infraestructura y mejoras existentes en los Predios adquiridos para el Proyecto.
- e) Garantizar que los predios aledaños al corredor vial del proyecto queden con el acceso necesario que les permita su desarrollo y funcionalidad, para lo cual deberá identificar en el diseño, las obras a desarrollar en el derecho de vía para el acceso a los predios aledaños.
- f) Recabar y entregar a la Interventoría el plan de adquisición de predios a que se refiere la Sección 4.1 de este Apéndice.
- g) Realizar las acciones necesarias para que, de acuerdo con la Ley Aplicable, los Predios a ser adquiridos sean considerados como de utilidad pública.
- h) Elaborar y entregar a la Interventoría la documentación de Gestión Predial a que se refiere la Secciones 4.2 y siguientes de este Apéndice.
- i) Elaborar y suscribir los acuerdos de reconocimiento de Compensaciones Socioeconómicas establecidos en la Resolución ANI 545 de 2008, cuando a ello hubiere lugar.
- j) Contratar los Avalúos Comerciales y Corporativos de los Predios, de conformidad con lo señalado en la Sección 4.6 de este Apéndice.
- k) Elaborar y aprobar las ordenes de operación para el pago de cuentas relacionadas con la adquisición de los Predios.
- l) Adelantar los trámites requeridos para realizar ante la autoridad competente, el respectivo desenglobe del predio adquirido y la asignación de cédula catastral independiente.
- m) Suscribir por parte del Representante Legal del Concesionario, los documentos como acuerdos de reconocimiento de Compensaciones Socioeconómicas, ofertas, promesas y Escrituras Públicas de Compraventa.

- n) Adquirir los Predios correspondientes al Corredor del Proyecto, cuando éstos no le hubieren sido entregados como parte del Acta de Entrega de Infraestructura.
- o) Garantizar el cabal cumplimiento de los términos y condiciones establecidos por el ordenamiento jurídico para el agotamiento de la etapa de enajenación voluntaria, ante la eventual necesidad de acudir a la vía de la expropiación para la culminación de procedimiento de adquisición predial.
- p) Preparar todos los documentos relacionados con el trámite de expropiación judicial para remisión y suscripción por parte de la ANI.
- q) Atender las directrices establecidas en el presente Apéndice, sin perjuicio de aquellas que en materia de Gestión Predial establezca la ANI de manera general para todas las concesiones o asociaciones público-privadas, o de forma particular para el desarrollo del Proyecto, en armonía con las políticas que para el efecto establezca el Gobierno Nacional.
- r) Asistir a los comités para el control y seguimiento de la Gestión Predial que convoque la Interventoría o la ANI. De ser necesario, para el desarrollo de estos comités, tendrá que estar presente el equipo de trabajo predial previa solicitud de la ANI o el Interventor.
- s) Dar respuesta en forma clara, veraz, precisa y dentro de los términos de ley, a las solicitudes que sobre el proceso de adquisición predial a su cargo realicen los propietarios, personas naturales o jurídicas entidades estatales, o cualquier otro interesado, remitiendo copia de la misma a la Interventoría y la ANI.
- t) El Concesionario mantendrá a disposición del Contratista encargado del Diseño la totalidad de la información predial y apoyará con su equipo predial el desarrollo de los estudios de detalle.

7.5.2. Normatividad Vigente

Sin perjuicio de las normas que sean expedidas durante la vigencia del Contrato, y de cualquier otra norma que resulte aplicable, la Gestión Predial de la Concesión estará regida de manera general por las siguientes normas, así como por las que las complementen o sustituyan:

- a) Constitución Política de Colombia.
- b) Ley 9 de 1989.
- c) Decreto 2150 de 1995.
- d) Ley 388 de 1997.
- e) Ley 105 de 1993.
- f) Ley 1228 de 2008.
- g) Ley 1150 de 2008.
- h) Ley 1182 de 2008.
- i) Ley 80 de 1993 – Estatuto de Contratación Administrativa.
- j) Ley 1564 de 2012- Código General del Proceso.
- k) Decreto 422 de 2000.
- l) Decreto 1420 de 1998.
- m) Resolución 545 del 5 de diciembre de 2008, “Por la cual se definen los instrumentos de gestión social aplicables a proyectos de infraestructura desarrollados por la ANI y se establecen criterios para la aplicación del plan de compensaciones socioeconómicas”.
- n) Resolución IGAC 620 de 2008.
- o) Resolución IGAC 070 de 2011.
- p) Resolución ANI 077 de 2012.

A) En los mismos plazos previstos en la Sección 6.1(a) de la Parte General del Contrato de Concesión para la entrega de la documentación que hace parte de los Estudios de Trazado y Diseño Geométrico, el Concesionario hará entrega al Interventor del plan de adquisición predial, que estará compuesto por los siguientes documentos, los cuales serán desarrollados con base en información

obtenida de manera directa mediante visitas de campo, e información secundaria, en tanto sea relevante:

- Tira Topográfica de la totalidad de los Predios requeridos para las Intervenciones.
- Inventario Predial.
- Investigación Catastral.
- Cronograma de Adquisición de Predios.
- Metodología de Adquisición de Predios.

B) En un plazo no superior a los diez (10) Días de recibida la documentación que se describe en este numeral, el Interventor notificará al Concesionario sus observaciones a dicho documento, o en caso en que no existiere pronunciamiento del Interventor en dicho plazo, se entenderá que no existe objeción alguna del Interventor respecto de dicha documentación. Si la Interventoría efectuare observaciones a dicho texto, el Concesionario tendrá un plazo de diez (10) Días, contados desde la notificación de las observaciones, para corregirlas.

C) Si persisten las discrepancias entre el Concesionario y el Interventor en cuanto al contenido o alcance del plan de adquisición de predios, se acudirá al Amigable Compondor, salvo que ANI esté de acuerdo con el Concesionario.

7.6. Marco Jurídico

Esta información fue recopilada de INVIAS (2006) “Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles”:

Para llevar a cabo la implementación de un proyecto, siempre es fundamental adherirse a las regulaciones, las directrices técnicas de ejecución de construcción y al diseño de las vías pertinentes. Esto garantiza la ejecución exitosa del proyecto y el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos.

Los manuales siguientes proporcionan una guía precisa para realizar un diagnóstico adecuado en cualquier tipo de vía, ofreciendo una orientación precisa y objetiva. Estos manuales destacan los aspectos más críticos que deben considerarse al llevar a cabo dicho proceso. A continuación, se detalla el enfoque temático de cada uno de estos manuales presentados.

- Manual de inspección visual obras de drenaje (octubre de 2006)

En una carretera, el sistema de drenaje es el conjunto de obras que permite un manejo adecuado de los fluidos, para lo cual es indispensable considerar los procesos de captación, conducción y evacuación de estos. Este manual es la guía necesaria para dar inspección a las obras de drenaje, este contiene las herramientas prácticas necesarias que deben ser empleadas por los ingenieros, cuyo fin es obtener un informe detallado de todos los daños que se encuentren al momento de realizar un diagnóstico de una vía que se obtiene mediante la inspección visual de esta, también nos permite caracterizar la magnitud, la severidad y la localización de las obras de drenaje encontradas mediante la inspección realizada en campo.

- Manual de inspección visual pavimentos flexibles (octubre 2006)

Este manual es la guía competente para realizar la inspección visual del pavimento flexible en una vía, que los ingenieros deben tener en cuenta al momento de revisar las obras ejecutadas con este tipo de material permite localizar los sectores de las vías con el mayor grado de afectación. Este está dividido en 3 partes, la primera parte nos menciona la descripción de los daños más comunes encontrados en los pavimentos, la segunda parte nos muestra un formato de diligenciamiento para realizar el registro de los daños encontrados, la parte 3 instruye la forma de realizar la presentación de los datos ingresados en los formatos.

- Manual de inspección visual pavimentos Rígidos (octubre 2006)

Este manual es la guía para realizar la inspección visual de los pavimentos rígidos que los ingenieros tienen como herramienta para realizar la inspección, también nos ayuda a la localización de los sectores de vía más afectados. Está dividido en 4 partes, la parte 1 hace referencia a los diferentes tipos de pavimento rígido, la parte 2 hace referencia a los tipos de deterioro en pavimentos rígidos, la parte 3 hace referencia a el procedimiento para el registro de datos en el formato estipulado por la norma, la parte 4 hace referencia a la metodología para realizar un informe detallado de daños.

- Manual de inspección visual de Puentes y pontones (octubre de 2006)

Este manual es la guía para realizar la inspección visual de pavimentos rígidos que los ingenieros tienen como herramienta para realizar la inspección de los elementos, este manual tiene las herramientas prácticas necesarias para obtener un informe detallado de la inspección de los Puentes y pontones, este manual tiene las herramientas prácticas necesarias para obtener un informe detallado de la caracterización de la magnitud y severidad los mismos, también la localización de los elementos afectados.

- Manual de inspección visual de obras de estabilización (octubre 2006)

Este manual es la guía para realizar la inspección visual de obras de estabilización que los ingenieros tienen como herramienta para realizar la inspección de los elementos de estabilización, este manual tiene las herramientas prácticas necesarias para obtener un informe detallado del estado de las obras de estabilización, este manual tiene las herramientas prácticas necesarias para obtener un informe detallado de la caracterización de la magnitud y severidad los mismos. Está dividido en 5 partes, la parte 1 corresponde al marco conceptual con respecto a los procesos de inestabilidad, la parte 2 una descripción de los diferentes tipos de estructuras diseñadas para la estabilización de terreno y los elementos más importantes a considerar en la inspección, la parte 3 describe el procedimiento para realizar el registro de daños en el cual expone el formato de campo, la parte 4

hace referencia a la metodología recomendada para el reporte de daños, la parte 5 se encuentra la bibliografía en la cual la norma INVIAS encontró apoyo para la realización del manual.

- Guía de manejo ambiental (abril 2011)

La Guía de Manejo Ambiental para proyectos de Infraestructura Vial, responde a las necesidades de incorporar los recientes cambios en la normativa y en las políticas ambientales del país, así como de acoger las directrices de la actualización de la política ambiental de INVIAS y de adoptar las mejores prácticas en planificación, diseño y construcción que contribuyan a disminuir el riesgo frente a desastres naturales.

En este contexto, se incorporan las últimas directrices y normas expedidas por el Gobierno Nacional, orientadas a mejorar el desempeño sectorial en un contexto de sostenibilidad y avance del rezago en infraestructura. De igual manera, en el marco de un proceso de mejoramiento continuo, se incorporan los resultados de la retroalimentación con contratistas e interventores para conocer las experiencias positivas y negativas de su aplicación y el potencial para contribuir a la solución de problemáticas ambientales que afectan la conectividad del país, derivados en buena medida de la variabilidad climática.

- Manual de mantenimiento de carreteras (enero 2016)

El manual de mantenimiento de carreteras da la guía para determinar el orden de ideas para el cumplimiento de los objetivos que el instituto nacional de vías cuyo objetivo es la regulación técnica relacionada con la infraestructura del corredor vial , aportando las técnicas de construcción, conservación y seguridad de la infraestructura adicional generando estudios en innovación estableciendo criterios , procedimientos y recomendaciones para aplicar en la gestión de las actividades técnicas de la naturaleza rutinaria y periódica que se deben adelantar en las carreteras nacionales no concesionadas , incluyendo pavimentos , afirmados Puentes , túneles y elementos de accesorios de tal forma que mantengan un nivel de servicio adecuado para los usuarios.

- Ley de Infraestructura - Ley 1682 de 2013

Esta ley adopta las medidas y disposiciones para los proyectos de infraestructura de transporte y se conceden facultades extraordinarias y genera disposiciones generales, principios y políticas de la infraestructura del transporte.

- Código Nacional de Transporte Terrestre –Ley 709 de 2002

Esta ley regula la circulación de los peatones, usuarios, pasajeros, conductores, motociclistas, ciclistas, agentes de tránsito, y vehículos por las vías públicas o privadas que están abiertas al público, o en las vías privadas, que internamente circulen vehículos; así como la actuación y procedimientos de las autoridades de tránsito.

7.6.1. Justificación de un proyecto de mejoramiento para una vía terciaria según el Manual Geométrico de Carreteras

Existen condiciones específicas que según el manual obligan al mejoramiento continuo de los criterios de diseño y, por consiguiente, a su aplicación en el mejoramiento de la carretera existente. Entre las situaciones que justifican el mejoramiento que mejor se adaptan a la “vía de Puente Quemao” se encuentran las siguientes:

- Las condiciones de desgaste de la pavimentación de una carretera obligan a realizar mejoras en los alineamientos y en la capa de rodadura, que sean compatibles con el aumento de la velocidad de operación. Mediante este mejoramiento se debe garantizar la distancia de visibilidad de parada y posibles adelantamientos, si las condiciones de la vía lo permiten.
- Necesidad de eliminar sitios críticos de accidentalidad originarios por defectos en el trazado de la carretera.

7.7. Marco Geográfico

Toribio es un municipio colombiano ubicado en el departamento de Cauca. La cabecera municipal se encuentra localizada a los 02°57'29" de latitud norte y 76°16'17" de longitud oeste, a una altura de 1800 m.s.n.m y presenta una temperatura de 19 °C. A mediados de 2011 a 2013, el municipio había sido afectado por varios asaltos por parte de las guerrillas presentes en la zona, lo que ha provocado una reducción en todos los sentidos al sitio. (Wikipedia, 2017)

8. Metodología

En la **Ilustración 6** se describe la metodología implementada para el diseño a detalle o factibilidad del proyecto.

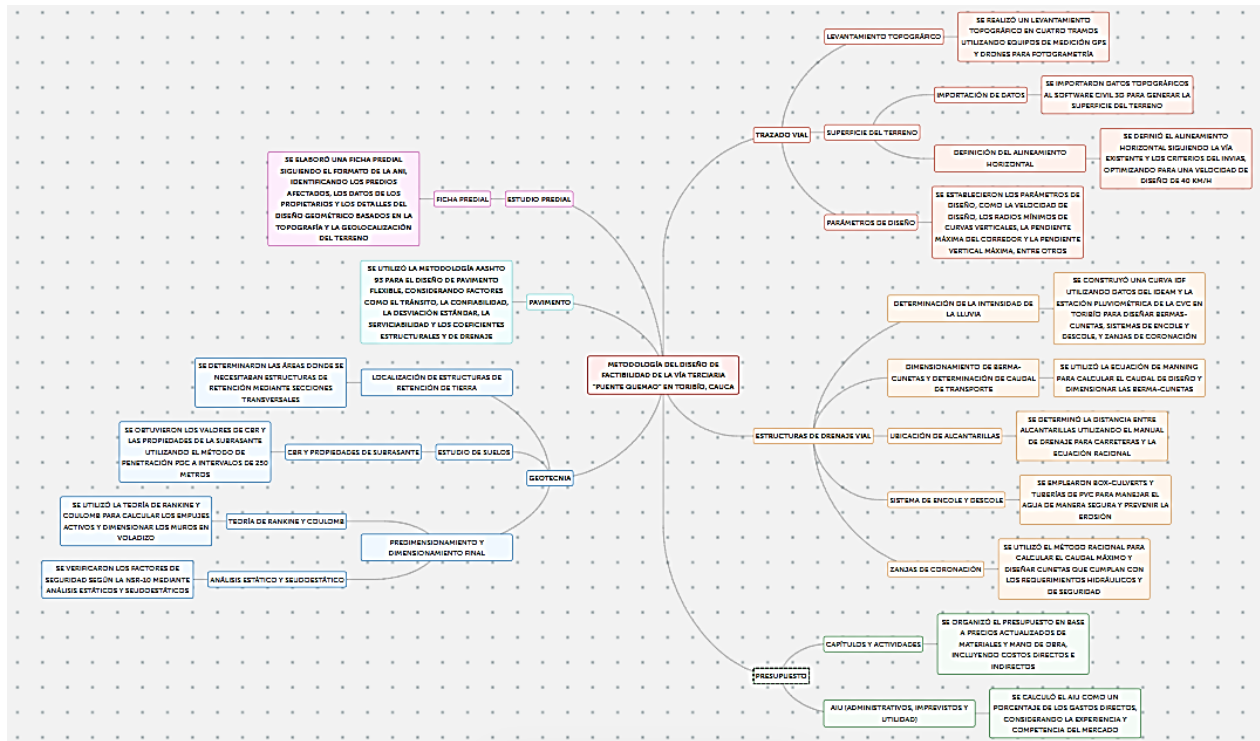


Ilustración 6. Metodología

8.1. Trazado Vial

La metodología precisa y enumera los procedimientos que se seguirán para la realización del diseño de factibilidad de la vía terciaria "Puente Quemao" ubicada en el sector rural del municipio de Toribío entre K8+750 y K11+604, en el departamento del Cauca. Para esto es necesario realizar la modelación del trazado vial con ayuda del programa Civil 3D. A continuación, se describen de manera detallada cada uno de los procedimientos.

8.1.1. Modelación de alternativas Viales en Civil 3D.

Para la realización de esta modelación, se tiene en primera instancia la topografía del terreno. Esta topografía se realizó con equipos de medición vía GPS y fotogrametría de la zona. En

compañía de la comunidad, se realizó un recorrido por los tramos establecidos para el diseño y se especificaron los puntos claves donde se instalaron los equipos de medición vía GPS.

Además, se dividió la totalidad del proyecto en cuatro tramos y se organizaron tres equipos de trabajo para realizar el levantamiento topográfico. Dos de esos equipos se encargaron de realizar la toma de datos utilizando las estaciones de GPS, marcando cada 10 o 20 metros cinco puntos de la vía: dos en los linderos, dos en los bordes de la calzada y un punto central de la calzada. Este ejercicio se realizó para todos los cuatro tramos.

El otro equipo se encargó de realizar el levantamiento con dron. Este, mediante fotogrametría, puede establecer los niveles y las cotas de la vía existente. Este ejercicio requería que cada 200 metros se colocaran puntos de referencia con telas especiales de marcación para georreferenciar los datos del terreno. Una vez obtenidos los datos del terreno, se realiza una depuración de estos mediante el software Pix4D Mapper.

Una vez se tiene esta topografía, se importa directamente a Civil 3D y se genera la superficie del terreno con la cual se definirá el alineamiento horizontal, donde se dibujará la trayectoria de la carretera en planta siguiendo la vía ya existente, teniendo en cuenta una pendiente longitudinal óptima que permita un alto nivel de confort en los usuarios. El alineamiento se realiza siguiendo la vía existente siendo una estrategia costo beneficio. Sin embargo, se debe ajustar a los criterios de diseño geométrico para vías terciarias establecido por la norma de diseño geométrico de carreteras del INVIAS, continuamente se proceda a realizar el corredor vial, elementos horizontales y verticales cumpliendo con todo lo estipulado para una velocidad de diseño de 40 km/h, el radio mínimo, entre tangencia mínima, ancho de calzada, ancho de berma, el Kmin control visibilidad de parada, longitudes min, Pendiente máxima del corredor y por último la Pendiente vertical máxima.

8.1.2. Velocidad de diseño

Se establece de acuerdo con la Norma de diseño de carreteras del INVIAS, donde a partir del tipo de terreno y la categorización de la carretera se especifica una velocidad óptima de diseño.

8.1.3. Radios mínimos de las curvas verticales

Se establecen a partir de la velocidad de diseño como se observa en la Tabla 2.

Tabla 4: Velocidades de Diseño INVIAS.

Fuente: Manual de Diseño geométrico de carreteras, INVIAS 2018

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

⁽¹⁾ La adopción de este valor redondeado se sustenta básicamente en la necesidad de suministrar a los vehículos condiciones de desplazamiento cómodas, en aras de permitir giros sin requerir cambios muy fuertes en su velocidad.

8.1.4. Pendiente máxima del corredor

Se establece a partir de la velocidad de diseño y la categoría de la carretera como se ve en la Tabla 3.

Tabla 5: Pendiente máxima del corredor INVIAS.

Fuente: Manual de Diseño geométrico de carreteras, INVIAS 2018

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO V _{TR} (km/h)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5
Primaria de una calzada	-	-	-	-	7	7	6	6	5	-
Secundaria	-	-	7	7	7	7	6	-	-	-
Terciaria	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-

8.1.5. Pendiente vertical máxima

Se establece a partir de la velocidad de diseño y la categoría de la carretera como se observa en la Tabla 4.

Tabla 6: Pendiente máxima del corredor INVIAS.

Fuente: Manual de Diseño geométrico de carreteras, INVIAS 2018.

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

8.1.6. K_{min} control visibilidad de parada y longitudes min

Este factor tiene como fin garantizar parámetros mínimos de estética y comodidad a los usuarios y se establece a partir de la velocidad de diseño, como se presenta en la Tabla 5.

Tabla 7: K_{min} control visibilidad de parada y longitudes min.

Fuente: Manual de Diseño geométrico de carreteras, INVIAS 2018.

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

Una vez se tienen todos estos parámetros se procede a realizar el perfil vertical donde a partir de la cota del terreno se establece una rasante, la cual debe cumplir con cada una de las especificaciones mostradas anteriormente, esta rasante permite la creación de la superficie del corredor y por consiguiente la modelación del mismo, todo esto después de definir el ensamblaje de la vía en estudio, ya que con este ensamblaje se ultiman detalles del corredor donde ya van a estar presente el ancho de calzada, bermas, pendientes de corte y relleno; propios de la carretera. como lo son las obras civiles, ya sean geotécnicas, estructurales o hidráulicas, así como también parámetros socioeconómicos y ambientales. Una vez se realiza el corredor se calculan los cortes de relleno, excavación y demás especificaciones de diseño.

8.2. Estructuras de Drenaje Vial

8.2.1 Determinación de la Intensidad de la lluvia (mm/h) en la zona del proyecto

Para la determinación de la intensidad de lluvia de la zona de Toribio donde se realiza el proyecto, se consultó el IDEAM, los registros de la precipitación máxima registrada en veinticuatro (24) horas en la estación meteorológica más cercana. En este caso la estación de medición más cercana es una estación pluviométrica de la CVC, ubicada en toribio con el código de referencia 2612000103, la cual proporciono los datos de precipitación máxima mensual en rangos de 24 horas desde 2020-2023, los cuales eran los datos más recientes medidos en la zona.

Tras obtener los datos de intensidad de lluvia, hay que construir la curva IDF con sus respectivos periodos de retorno y determinar la intensidad de diseño de las diferentes estructuras de drenaje vial. Para ello, se consultó en “Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella” del Ministerio de Transporte e INVIAS, la cual dicta el procedimiento detallado para la crear a partir de los datos de la estación de medición pluviométrica y la clasificación de la zona del proyecto la curva IDF para vías terciarias.

De esta forma, se establece construye la curva IDF para la zona específica de Toribio y por ende del proyecto, esta herramienta nos permite conocer la intensidad máxima en un rango de 24 horas para diferentes periodos de retorno que a su vez dependen de la estructura de drenaje vial que se desee diseñar. Para este proyecto se procede a diseñar Berma-cunetas, Sistemas de encole y descole y Zanjas de coronación para los taludes.

8.2.2 Dimensiones Berma-cuenta y Determinación de Caudal de transporte

Las Berma-cunetas recogen las aguas lluvias provenientes de capa de rodadura y la escorrentía de la topografía, además sirven de confinamiento de la estructura del pavimento y de anclaje a las riostras. Respecto a las dimensiones y la forma de la berma cuneta se optan por dimensiones y formas estándares que suplan las necesidades del proyecto, las cuales se determinan evaluando la capacidad de caudal que pueda transportar dicha Berma-cuneta respecto a la intensidad de lluvias específica de la zona del proyecto.

$$Q = \frac{1}{n} \left(AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right) \quad [4]$$

Donde:

Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m³/s)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

A: Área mojada, en metros cuadrados (m²)

R: Radio hidráulico, en metros (m)

S: Pendiente, en metros por metros (m/m)

Una vez establecidas las dimensiones de la Berma-cuneta, usando la ecuación de Manning, Donde considera la pendiente de cada tramo del trazado vial, dando como resultado el caudal máximo de diseño que podría transportar dicha Berma-cuneta con esas dimensiones específicas.

8.2.3 Ubicación de las alcantarillas

Para determinar la ubicación de las distancias entre las alcantarillas, se consultó el “Manual de Drenaje para Carreteras” del Ministerio de Transporte e INVIAS. Dicho manual establece una distancia llamada Ancho De Impluvium, la cual es una distancia que tienen en consideración el tipo de terreno, la clasificación del tipo de suelo, al ancho de la Berma-cuneta, la proyección del talud de corte y la capa de rodadura. Para establecer una distancia en la que se sabe que tiene incidencia en la recolección de escorrentía, que recolectaría la Berma-cuneta.

Por otro lado, es necesario hacer uso de la ecuación racional para determinar la longitud máxima que hay entre alcantarillas. Para ellos primero se coeficiente de escorrentía el cual es un parámetro que se obtiene de la Tabla 10 del Manual de Drenajes de Carretera.

*Tabla 10. Coeficiente de escorrentía
Fuente: Manual de drenajes de carretera*

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

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

Una vez se obtiene el coeficiente de escorrentía, la intensidad de lluvia y la longitud de Impluvium, solo se tiene como variable la longitud entre alcantarillas, dentro de la ecuación racional para determinar el área aferente y de esta forma el caudal. La ecuación racional se presenta a continuación,

$$Q_e = C_i A Y [5]$$

Donde: Q_e = Caudal de escorrentia en metros cuadrados por segundo (m^2/s)

I = Intensidad para un tiempo de concentración (mm/hora)

C = Coeficiente de escorrentia

AY = Área aferente o tributaria en kilometros cuadrados (km^2)

S = Pendiente, en metros por metros (m/m)

Para relacionar la distancia entre alcantarillas con la pendiente de los tramos de la vía, se realiza un sistema de ecuaciones, igualando la ecuación racional y la de Manning. De esta forma se crea un sistema donde dependiendo de la pendiente de la vía así mismo será mayor o menor la distancia entre las alcantarillas o sistema de drenaje.

8.2.4 Sistema de encole y descole

Primero se establece el sistema de encole que consiste en elevar el nivel del agua en un drenaje para que fluya en una dirección específica, hacia el sistema de alcantarillado. Para ello, se opta por el uso de box-culverts, que son estructura de drenaje prefabricada que se utiliza para permitir el paso de agua bajo carreteras. Al igual de las cunetas sus medidas están dadas según unos diseños estándares, y dependerán de la demanda de agua de la zona o el caudal de diseño que se proponga.

Por otro lado, el sistema de descole es un sistema de drenaje que puede incluir una variedad de elementos y dispositivos, que garantizan un adecuado manejo del agua y prevenir problemas asociados con el exceso de agua, como inundaciones, erosión del suelo y daños a la infraestructura. Para darle un adecuado manejo del agua se tiene primero el transporte por debajo de la vía, el cual se hace mediante tuberías de PVC que se establecen en pulgadas dependiendo de la demanda del caudal de diseño. Además, se tiene que asegurar que una vez pase el agua tenga un sistema que entregue dicho caudal de manera segura para evitar erosión y daños en la infraestructura.

8.2.5 Zanjas de coronación

Las zanjas de coronación son estructuras que se utilizan en sistemas de drenaje para recoger y canalizar el agua de lluvia que se acumula en la parte superior de un terraplén, talud o muro de contención. Para el diseño de estas, primero se calcula el área de la cuenca que mide la superficie de terreno que drena hacia un punto determinado, como la desembocadura de un río o la salida de un sistema de drenaje. Es un parámetro importante en el estudio de los sistemas hídricos, ya que permite determinar la cantidad de agua que fluye por la cuenca, la velocidad de la escorrentía y el riesgo de inundaciones.

Para calcular el área de la cuneta se deben usar herramientas de modelación que permitan considerar los datos geoespaciales para determinar el área que influye en la recolección de escorrentía. Tras obtener el área influente, se usa la curva IDF calculada anteriormente para determinar la intensidad máxima dependiendo del periodo de retorno de la estructura, 10 años para zanjas de coronación.

Una vez se tiene el área específica y la intensidad de lluvia se puede calcular el coeficiente de escorrentía del terreno el cual se clasifica según el tipo de terreno y su pendiente, comparando dichos parámetros se hace uso de la Tabla de coeficiente de escorrentía para zonas rurales y se obtiene el valor de dicho coeficiente.

Por otra parte, se hace uso del método racional para calcular el caudal máximo, este cálculo tiene como parámetros el coeficiente de escorrentía, la intensidad de lluvia y el área específica determinada. Cuando se tiene el caudal máximo de la zona se procede a diseñar la estructura drenante que permita suplir dicho requerimiento y tenga un factor de seguridad.

Para el diseño de cunetas, primero se selecciona el tipo que satisfaga las necesidades de la obra y sea la más conveniente, considerando el caudal máximo, el tipo de suelo y la pendiente. El diseño hidráulico de la cuneta debe ser verificado según la capacidad hidráulica de la estructura. Este proceso se chequea mediante la ecuación de Manning, donde calcula el caudal que puede transportar dicha estructura con las dimensiones propuestas.

Por último, se hace un chequeo de cumplimiento comparando el caudal calculado con Manning de la estructura con el máximo de la zona, cumpliendo solo si el caudal de diseño es mayor al máximo y cumple un factor de seguridad seleccionado.

8.3. Presupuesto

Para la realización del presupuesto se deben tener claro los diseños de todos los elementos de la vía, el diseño geométrico de la vía, las obras de geotecnia, el diseño de obras hidráulicas, la cantidad de cortes y rellenos, y los aspectos relacionados con los elementos necesarios para acondicionamiento vial.

Como primer paso de la metodología del presupuesto se recoge información general del proyecto sobre su ubicación respecto a los principales distribuidores de insumos, canteras, ferreterías, distribuidores de materiales del diseño de calzada, transporte de maquinaria y disponibilidad de mano de obra especializada. Se pudo identificar una posible Cantera para el suministro de agregados a 23 km de la obra cerca al municipio El Palo, la cual se va a tomar como referencia para el cálculo de costos de transporte del material

Por otro lado, se elaboró una base de datos con todos los precios actualizados de los materiales utilizados. En el caso de los precios de los materiales se tomará como guía el “Análisis de precio unitario de Invias para el oriente del Cauca”, la cual es la zona que le corresponde a Toribio del año 2023, el cual es el más actualizado que cuenta la entidad para estimar los precios.

Una vez se tiene los precios tanto de los materiales como de la mano de obra, se procede a establecer capítulos y actividades con el fin de dar un orden de ejecución y facilitar más adelante la programación de obra. Para cada capítulo y actividad se debe calcular las cantidades de obra de cada material, los equipos necesarios para la actividad y la mano de obra especializada. Al establecer los requerimientos de mano de obra y equipos se establecen los rendimientos de cada uno de ellos y se procede a calcular el tiempo de ejecución de cada actividad.

Una vez se calculan la duración y el costo de todas las actividades y capítulos de la obra se obtienen los costos directos de la misma, valor con el cual se pueden calcular muchos parámetros de los gastos de los costos indirectos. Para la AIU (administrativos, imprevistos y utilidad), se tiene como bloque el cálculo de los gastos administrativos con los salarios del personal administrativo como el ingeniero residente, director, residente, almacenista, secretario, y todo empleado que no dependa directamente de los costos directos de la obra. Además de los salarios se tiene en los gastos administrativos los gastos operacionales y los impuestos en los cuales tiene en cuenta el predial, retención de fuente, ICA, impuesto forestal y demás.

Por otro lado, el cálculo de las utilidades y los imprevistos se obtiene mediante un porcentaje de los gastos directos de la obra y dichos porcentajes dependen de la experiencia de la empresa, del mercado o del nivel de competencia que exista para dicho contrato. Con la suma de los gastos directos e indirectos se tiene entonces el valor total de la obra.

8.4. Geotecnia

La metodología que se lleva a cabo en este ítem enumera los procedimientos que se siguen para la realización de las estructuras de retención de tierras necesarias para el diseño de factibilidad de la vía terciaria “Puente Quemao” ubicada en el sector rural del municipio de Toribio entre K8+750 y K11+604, en el departamento del Cauca. Para esto es necesario realizar una serie de procedimientos como la localización, estudio de suelos, predimensionamiento, dimensionamiento, y análisis de estabilidad en el software slide. A continuación, se describen todos los procedimientos.

8.4.1. Localización de estructuras de retención de tierra

Para establecer la ubicación de estas estructuras hay que verificar las secciones transversales del diseño del trazado vial, ya que mediante diagramas se puede observar de manera precisa en que tramos de la vía es necesario realizarlas, se considera la sección donde la implementación del diseño vial se interrumpe por las condiciones de terreno, ya sea por pendiente de terrenos excesivamente altos, ausencia de terreno útil o inestabilidad.

8.4.2. Estudio de suelos

Una vez establecidas las estructuras de retención de tierras, es muy importante realizar un estudio de suelo pertinente que permita conocer de primera mano las características principales del suelo en estudio, como el tipo de suelo, estratigrafía del terreno, el CBR y otras propiedades de la subrasante. Para la obtención del CBR, se utiliza el método de penetración penetrómetro dinámico de cono (PDC) el cual se realiza cada 250 m a lo largo de todo el trazado vial.

8.4.3. Predimensionamiento de estructuras de contención de tierras

Una vez se tienen todas las características mecánicas y físicas del suelo en estudio, se procede a realizar el pre dimensionamiento de estas estructuras, teniendo en cuenta que se optó por la realización de muros en voladizo, para definir las características geométricas del muro en voladizo (Ver Ilustración 1), siendo las más importantes la altura H y base B , se utilizará como guía la relación B/H del análisis paramétrico para la convergencia según la NSR-10 para ángulos de fricción típicos, como se muestra en la Tabla 8.

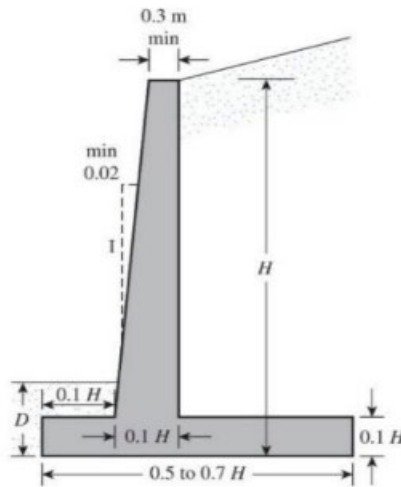


Ilustración 7: Muro en voladizo

Tabla 11: Relación H/B para muro en Voladizo

Fuente: Norma sismorresistente colombiana (NSR-10)

Condición	Base del muro (B)	Tipo de relleno (ϕ°)
Estática	0.6H (hasta 4m) 0.7H para $H > 4\text{m}$	Baja calidad (25°)
	0.6H	Normal (30°)
	0.56H	Competente (33°)
Sismo	0.6H para $K_h=0.1$	Normal (30°)
	0.615H para $K_h=0.2$	
	0.63H para $K_h=0.3$	

8.4.4. Dimensionamiento final y chequeo de factores de seguridad

para realizar el dimensionamiento final del muro de contención en voladizo se utilizará la teoría de Rankine, con la cual se realizarán los cálculos de empujes activos del suelo y sobrecarga teniendo en cuenta las características del suelo de relleno y de subrasante. Estos empujes se pueden observar en la Ilustración 2.

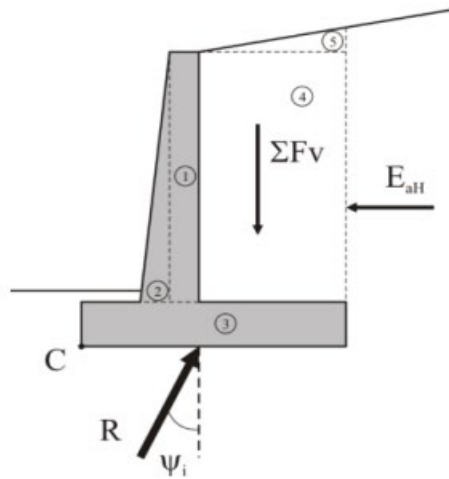


Ilustración 8: Diagrama de empuje y cargas del suelo.

Fuente: Norma sismorresistente colombiana (NSR-10)

Una vez se realiza el cálculo de empujes y momentos actuantes sobre el muro, se procede a realizar el análisis de carga última en el muro en voladizo para estabilidad estática mediante la teoría de Rankine y coulomb para una condición estática. Luego se procede a calcular los factores de seguridad para volcamiento, deslizamiento y capacidad portante verificando su cumplimiento con los valores mínimos establecidos por la norma sismorresistente colombiana (NSR-10) presentes en la Tabla 12.

Tabla 12: Factores de seguridad para el análisis de estabilidad estática

Fuente: Norma sismorresistente colombiana (NSR-10)

Escenario (condición)	Construcción	Estático	Seudo-estático
Deslizamiento	1.60	1.60	1.05
Volcamiento			
$\Sigma M_{res} / \Sigma M_{act}$	≥ 3.00	≥ 3.00	≥ 2.0
e/B	$\leq 1/6$	$\leq 1/6$	$\leq 1/4$
Capacidad portante	--	3.0	1.5
Estabilidad global			
Permanente (> 6 meses)	1.20	1.50	1.05
Temporal (< 6 meses)	1.20	1.30	1.00
Laderas adyacentes (>2.5H)	1.20	1.50	1.05

Una vez realizado el análisis estático se procede a realizar el estudio seudoestático, en este procedimiento es necesario efectuar el cálculo del coeficiente sísmico horizontal y vertical siguiendo el procedimiento establecido por la norma sismorresistente colombiana (NSR-10), Donde como primer paso se tiene el cálculo del coeficiente de aceleración horizontal (A_a) y el coeficiente de velocidad horizontal (A_v) de acuerdo a la zona y amenaza sísmica, en este caso se toman los valores respectivos a la ciudad de Popayán, estos valores se observan en la Tabla 13.

Tabla 13: Valor de A_a y de A_v para las ciudades capitales de departamento

Fuente: Norma sismorresistente colombiana (NSR-10)

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja

Después de esto se establece el coeficiente de amplificación teniendo en cuenta el tipo de perfil de suelo presente en el terreno del proyecto de acuerdo con la Tabla 14.

Tabla 14: Valores del coeficiente F_a para la zona de periodos cortos del espectro

Fuente: Norma sismorresistente colombiana (NSR-10)

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Luego se verifica el nivel de importancia de la obra de infraestructura via de acuerdo con la Tabla 15, donde a partir del grupo donde se encuentre la estructura se establece un nivel de importancia, es este caso se empleará el nivel de importancia del grupo I.

*Tabla 15: Valores del coeficiente de importancia I.
Fuente: Norma sismorresistente colombiana (NSR-10)*

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Teniendo estos datos sísmicos del terreno se procede a realizar el cálculo de la aceleración máxima del sismo en el terreno (a_{max}) mediante la siguiente ecuación:

$$a_{max} = A_a * F_a * I \quad [6]$$

Por último, se calcula el coeficiente sísmico horizontal (k_h) teniendo la cuenta el 80% de la aceleración máxima (a_{max}), este cálculo afecta el pre-dimensionamiento del muro como se observa en la figura 8, por consiguiente, el cálculo de momentos y empujes activos del terreno va a cambiar, así como también los factores de seguridad, a los cuales se verifica su cumplimiento en la Tabla 9, de acuerdo con los valores respectivos al análisis seudo estático.

Una vez se tiene el análisis estático y seudo estático se procede a establecer las dimensiones finales mediante el método de iteración, donde se obtendrán los valores de la altura y base de muro que cumplan con los 2 análisis establecidos.

8.4.5. Análisis de estabilidad en Slide

Realizado el proceso de cálculo iterativo se verifica este en el software de Slide insertando en el programa el diseño final del muro acompañado de la sección transversal del

terreno y todas las características físicas y mecánicas del suelo, con el fin de constatar que los coeficientes de estabilidad estén correctos y verificar la posibilidad de la implementación de otros sistemas de contención como pilotes.

8.4.6. Acero de refuerzo

Para el cálculo del acero de refuerzo se siguió lo establecido en el título C de la norma Colombiana Sismo Resistente (NSR-10), donde a partir de la acción que ejerce el suelo de relleno y el suelo de cimentación se establecen las cantidades de acero necesaria para soportar los momentos y fuerzas actuantes.

8.5. Pavimento

Para el diseño del pavimento flexible por la metodología AASHTO 93 se utiliza las siguientes variables:

- Tránsito: ejes equivalentes que se obtienen a partir del espectro de carga para el periodo de diseño. Esta variable depende además del espesor de la losa D y de la serviciabilidad final P_t .
- Confiabilidad: se utiliza la confiabilidad seleccionada para el proyecto, coincide con el valor con el que se calculó el tránsito de diseño, debe tenerse en cuenta que el Z_r es negativo.
- Desviación estándar: el S_o se toma del recomendado por el ensayo vial AASHTO.
- Serviciabilidad: este factor depende del confort que se le quiera dar a la vía en el año horizonte (al final del periodo de diseño) y depende de la importancia de la vía.
- Coeficientes estructurales (a): Se seleccionan de acuerdo con el modelo AASHTO.
- Coeficientes de drenaje (m): De acuerdo con los obtenidos para pavimentos flexibles para las capas no ligadas, en este caso base y subbase.

8.6. Predial

La metodología para la elaboración del estudio predial del proyecto de mejoramiento de la red vial terciaria “Puente Quemao” del municipio de Toribio, Cauca, consiste inicialmente en la elaboración de la ficha predial, la cual es un formato de la ANI (Agencia Nacional de Infraestructura). En este formato se solicitan una serie de datos que se obtienen con ayuda del diseño geométrico de la vía proyectada, que fue elaborado con la topografía realizada en campo, apoyado de diferentes equipos de medición vía GPS y de fotogrametría, y con la geolocalización del terreno de la que se dispone en Civil 3D.

Para identificar qué predios se van a ver afectados en la elaboración del proyecto, la primera parte del formato pide el número de predios, la abscisa inicial y la final de los predios, y el margen que, en este caso, es izquierdo y derecho porque se cuentan con predios en ambas partes. En la segunda parte se pide una serie de datos personales de los propietarios de los predios. Después, se solicita un conjunto de información específica de la zona, que incluye el nombre de la vereda/barrio, municipio y departamento. También se consulta para qué se van a requerir estos predios, que en este caso es el mejoramiento de la red vial en dicho tramo. Además, se pide la clasificación del suelo, la actividad económica de los predios, el tipo de topografía del terreno y la medición exacta de los linderos en metro lineal en todos los sentidos (norte, sur, oriente, occidente). Para obtener ese resultado, se debe medir cada uno de los predios en todos los sentidos y, por consiguiente, hacer la sumatoria de cada sentido.

En la cuarta parte de este formato se solicita información de los cultivos o especies que se encuentran en la zona y la cantidad. En la quinta parte de la ficha se solicita la descripción de cada una de las construcciones del proyecto y la cantidad de la ejecución de cada uno, ya sea en metros lineales, cuadrados o cúbicos, depende del ítem correspondiente. Luego, se hacen una serie de preguntas sobre la legalidad de los predios para ver si cumplen con distintos reglamentos. Después,

se calcula el área de cada predio, el área afectada de cada predio por la construcción de la vía y el área sobrante de los predios.

En la sexta parte de la ficha, que está en la segunda página, se coloca el registro fotográfico de cada uno de los predios y, por último, se coloca el nombre de la persona que elaboró la ficha y de quien la revisó y aprobó. Luego de finalizar la etapa de la elaboración de la ficha predial, se procede a realizar los planos de la localización de cada uno de los predios, en el cual se podrá evidenciar más a detalle el área total de los predios y el área que se va a ver afectada por la construcción de la vía debido a que en el plano también se va a poder presenciar el chaflán de la vía proyectada, y unas cotas de guía.

9. Resultados

En la etapa de prefactibilidad del proyecto, la cual fue elaborada en el curso de Diseño I, se realizó una evaluación integral de la vía terciaria “Puente Quemao” ubicada en el sector rural del municipio de Toribío entre K8+750 Y K11+604, sobre diferentes alternativas de trazado vial, independientes en sus valores, ese proceso se hizo con ayuda de la metodología de la matriz de decisión, la cual permite hacer un análisis racional de cada trazado vial con datos cuantitativos en diferentes componentes (DGV, Geotecnia, Ambiental, Predial, etc). Una vez se culminó este proceso, el resultado fue favorable para la alternativa 2 (pendiente 7%), por consiguiente en esta etapa de factibilidad del proyecto que tiene por objeto entregar el diseño de detalle de fase III, se van a hacer los diferentes estudios, diseños, análisis, sondeos, etc; sobre la alternativa de trazado vial elegida, y en base a los diferentes datos obtenidos de forma presencial en “Puente Quemao”, que van garantizan confiabilidad y exactitud en los resultados obtenidos al final del proyecto. En la figura xx se observa la matriz de decisión elaborada.

Tabla 16: Matriz de decisión estudio de prefactibilidad

		Alternativa 1 - Ruta 6%			Alternativa 2 - Ruta 7%			Alternativa 3 - Ruta 8%					
Porcentaje	Area	Item	Unidad	Magnitud	Puntaje	Valor	Magnitud	Puntaje	Valor	Magnitud	Puntaje	Valor	Item (%)
		Longitud Virtual (Método de Bruce)	m	5171,08	1	0,1	2790,73025	3	0,3	2683,2028	2	0,2	10,0%
30%	Diseño geométrico	Número de Curvas	und	14	3	0,09	19	1	0,03	16	12	0,36	3,0%
		Penalización	m	291,746	1	0,05	0	3	0,15	81,106	2	0,1	5,0%
		Volumen de corte	m ³	274131,56	1	0,02	163623,740	3	0,06	475046,05	2	0,04	2,0%
		Volumen de relleno	m ³	30257,25	2	0,08	368,540	3	0,12	62662,88	1	0,04	4,0%
		Velocidad de diseño	km/h	40	3	0,09	40	3	0,09	40	3	0,09	3,0%
		Tiempo	h	0,1293	1	0,03	0,0698	2	0,06	0,0671	3	0,09	3,0%
10%	Geotecnia	Altura de cortes	m	17,5	1	0,05	9	3	0,15	12,0	2	0,1	5,0%
		Obras geotecnia	und	6	3	0,15	4	2	0,1	5	1	0,05	5,0%
15%	Ambiental	Área verde afectada	m ²	33519	3	0,15	36220	2	0,1	54886	1	0,05	5,0%
		Cuerpos de Agua	und	0	3	0,15	0	3	0,15	0	3	0,15	5,0%
		Reservas naturales	und	0	3	0,15	0	3	0,15	0	3	0,15	5,0%
10%	Hidrográfico	Obras hidráulicas	und	1	3	0,15	1	3	0,15	1	3	0,15	5,0%
		Áreas aferentes	m ²	40656,43	3	0,09	42113,50	2	0,06	50176,01	2	0,06	3,0%
		Número de quebradas afectadas	und	0	3	0,06	0	3	0,06	0	3	0,06	2,0%
10%	Predial	Número de predios afectados	und	12	1	0,1	9	3	0,3	8	2	0,2	10,0%
10%	Estructura	Números de muros de contención	und	2	3	0,3	4	2	0,2	4	1	0,1	10,0%
15%	Costos	Costo general de la obra	Pesos	\$ 4.563.215.981,00	2	0,3	\$ 2.789.570.201,17	3	0,45	\$ 5.635.546.272,00	3	0,45	15,0%
Total Puntos por Alternativa					2,11			2,68			2,44		100,0%

9.1. Diseño geométrico

El ensamble de la carretera en estudio es de 2 direcciones cada una con un carril de 3 m y un bombeo de 2%, cuenta también con un bordillo de 0,225 m de ancho y 0,45 m de profundidad al lado izquierdo y al lado derecho una berma cuneta de 0,20 m de grosor y 0,45 m de ancho; la pendiente corte y relleno para ambos lados es respectivamente de 0.75:1 y 1.5:1.

A continuación, se presentan los resultados de los cálculos elaborados en el proceso de diseño del trazado vial del tramo rural entre Toribio y El Tablazo comprendido entre K6+523.57 Y K8+894.38.

El alineamiento dibujado tiene una longitud de 2370.81 metros, 19 curvas en el trazado del alineamiento horizontal y 14 curvas en el trazado del perfil, En la Tabla 17 y Tabla 18 se observan el número de curvas del alineamiento horizontal y vertical obtenidas a partir del diseño de detalle.

Tabla 17: Numero de curvas alineamiento horizontal

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVATURA									
PI	COORDENADAS PI	Rc (m)	Lc (m)	Δ	T (m)	E (m)	Gc	ABSCISA PC	ABSCISA PT
PI: 1	N:815744.2856, E:1094232.1592	45	23.28	29°38'29"	11.907	1.549	39° 35' 29"	K0+209.052	K0+232.332
PI: 2	N:815665.9105, E:1094206.1287	100	25.03	14°20'26"	12.580	0.788	17° 31' 55"	K0+290.430	K0+315.459
PI: 3	N:815398.3323, E:1094464.8579	50	58.95	67°33'07"	33.442	10.153	35° 29' 32"	K0+748.674	K0+807.624
PI: 4	N:815289.1616, E:1094485.1866	50	37.88	43°24'40"	19.903	3.816	35° 29' 32"	K0+865.326	K0+903.210
PI: 5	N:815823.6298, E:1094216.3499	90	25.05	15°56'56"	12.608	0.879	19° 29' 53"	K0+127.610	K0+152.663
PI: 6	N:815409.1621, E:1094245.3658	28	40.02	81°53'35"	24.294	9.070	65° 57' 06"	K0+542.943	K0+582.964
PI: 7	N:815234.6220, E:1094560.1420	50	35.24	40°22'35"	18.385	3.273	35° 29' 32"	K0+957.620	K0+992.855
PI: 8	N:815249.5447, E:1094756.9645	30	46.85	89°28'12"	29.724	12.232	61° 03' 41"	K1+142.134	K1+188.980
PI: 9	N:814958.5008, E:1094854.7685	65	28.56	25°10'16"	14.512	1.600	27° 07' 11"	K1+462.529	K1+491.084
PI: 10	N:814713.6590, E:1095162.2784	46	25.47	31°43'25"	13.070	1.821	38° 41' 45"	K1+905.843	K1+931.313
PI: 11	N:815908.2261, E:1094223.2756	125	25.89	11°52'02"	12.992	0.673	14° 00' 21"	K0+042.440	K0+068.330
PI: 12	N:815425.3466, E:1094336.6644	60	22.99	21°57'08"	11.637	1.118	29° 25' 43"	K0+639.755	K0+662.743
PI: 13	N:814633.1447, E:1095218.9939	80	27.42	19°38'14"	13.845	1.189	21° 57' 50"	K2+002.881	K2+030.300
PI: 14	N:814524.6342, E:1095249.1356	50	37.87	43°23'42"	19.895	3.813	35° 29' 32"	K2+109.179	K2+147.049
PI: 15	N:814429.2273, E:1095407.4131	43	44.71	59°34'18"	24.612	6.546	41° 30' 56"	K2+287.350	K2+332.058
PI: 16	N:814870.9182, E:1095111.7294	32	53.80	96°20'14"	35.751	15.980	56° 52' 54"	K1+725.319	K1+779.124
PI: 17	N:814858.5801, E:1095018.4030	50	33.98	38°56'26"	17.677	3.033	35° 29' 32"	K1+650.626	K1+684.608
PI: 18	N:815159.2896, E:1094764.6478	48	25.38	30°17'53"	12.996	1.728	37° 01' 25"	K1+236.842	K1+262.225
PI: 19	N:815113.1597, E:1094797.1454	43	30.69	40°53'48"	16.033	2.892	41° 30' 56"	K1+289.624	K1+320.317
PI: 20	N:815054.7181, E:1094791.2785	45	30.75	39°09'07"	16.002	2.761	39° 35' 29"	K1+347.017	K1+377.766
PI: 21	N:814806.6600, E:1095113.0685	30	26.84	51°15'15"	14.391	3.273	61° 03' 41"	K1+793.254	K1+820.091
PI: 22	N:814771.5002, E:1095158.8037	43	36.78	49°00'37"	19.601	4.257	41° 30' 56"	K1+843.787	K1+880.569
PI: 23	N:815553.0457, E:1094198.1725	43	16.65	22°11'30"	8.433	0.819	41° 30' 56"	K0+407.591	K0+424.245

Tabla 18: Numero de curvas alineamiento vertical

TABLA DE ELEMENTOS CURVAS VERTICALES											
PIV	ABSCISA PIV	ELEVACIÓN PIV	PENDIENTE		A	TIPO DE CURVA	Lc (m)	K	R (m)	L ASIMÉTRICA 1 (m)	L ASIMÉTRICA 2 (m)
			ENTRADA	SALIDA							
1	0+000,000	2208.518		2.61%							
2	0+050,000	2209.822	2.61%	8.42%	5.81%	CONCAVA	55	9.461		20	35
3	0+177,762	2220.58	8.42%	4.22%	4.20%	CONVEXA	30	7.137		15	15
4	0+330,000	2227	4.22%	10.00%	5.78%	CONCAVA	70	12.105	1210.451		
5	0+460,000	2240	10.00%	4.20%	5.80%	CONVEXA	25	4.313		10	15
6	0+600,000	2245.885	4.20%	9.56%	5.36%	CONCAVA	58	10.822	1082.189		
7	0+890,000	2273.617	9.56%	-2.11%	11.68%	CONVEXA	50	4.282		30	20
8	1+040,000	2270.448	-2.11%	3.94%	6.05%	CONCAVA	60	9.916	991.567		
9	1+210,000	2277.143	3.94%	9.42%	5.48%	CONCAVA	55	10.042		25	30
10	1+319,818	2287.483	9.42%	7.81%	1.60%	CONVEXA	25	15.615		10	15
11	1+480,000	2300	7.81%	-7.42%	15.24%	CONVEXA	65	4.265		30	35
12	1+740,000	2280.697	-7.42%	-4.97%	2.46%	CONCAVA	28	11.399	1139.869		
13	1+880,000	2273.742	-4.97%	-5.77%	0.80%	CONVEXA	35	43.772		15	20
14	2+090,250	2261.617	-5.77%	-10.00%	4.23%	CONVEXA	100.883	23.834	2383.433		
15	2+323,637	2238.278	-10.00%	-0.47%	9.53%	CONCAVA	90	9.44		55	35
16	2+370,809	2238.058	-0.47%								

A continuación, se presenta el diseño planta perfil con los elementos horizontales y verticales detallados, eje vial con descripción de la estructura de pavimento, perfil longitudinal y secciones transversales, diagrama de peraltes y también se puede visualizar de manera grafica las áreas de corte y de relleno necesaria para la construcción da cada carretera. Esta información se presenta en 3 partes en la Ilustración 9 a 11 con el fin de detallar de forma adecuada cada uno de los elementos anteriormente mencionados.

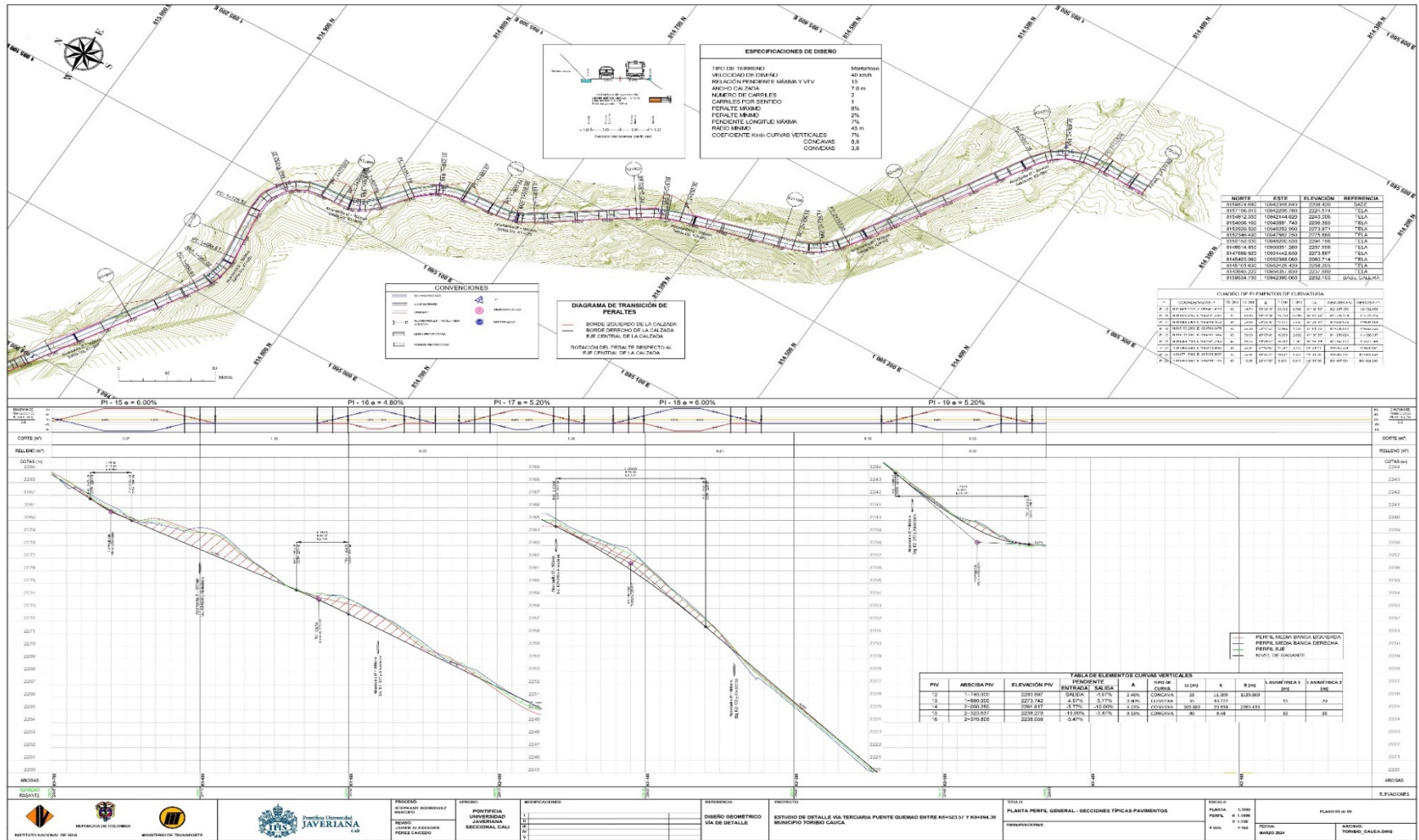


Ilustración 11: Planta perfil trazado vial parte

Por otro lado, el ensamblaje donde se muestra de manera grafica las dimensiones de cada estructura que compone la carretera se presentan en la Ilustración 12.

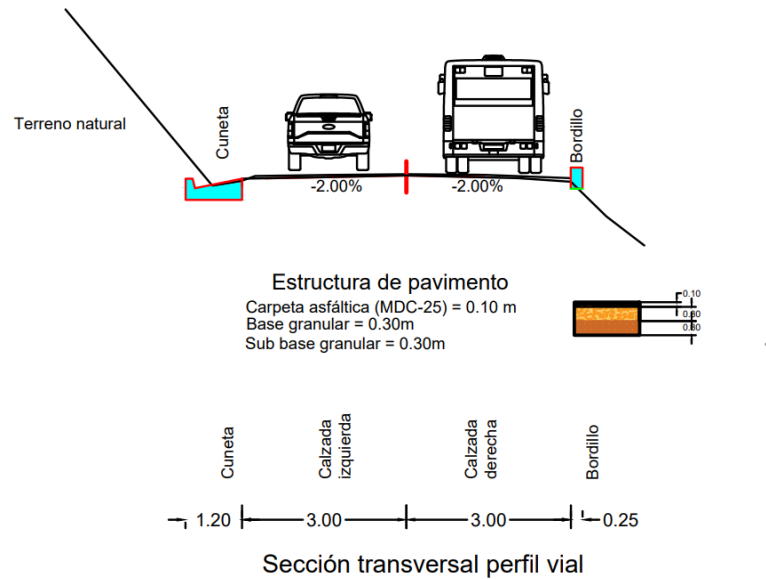


Ilustración 12: Sección transversal del perfil vial

9.2. Geotecnia

Una vez se realizó el diseño geométrico del trazado vial planteada y sus respectivas secciones transversales, se observó que en diferentes tramos es necesario la realización de muros de contención que permitan la implementación del diseño vial. Los tramos donde se necesitan muros de contención son los comprendidos entre el kilómetro K0+180 al K0+200, K0+260 al K0+280, K0+970 al K0+980. Las secciones transversales típicas de los tramos se muestran en la Ilustración 13 a 15.

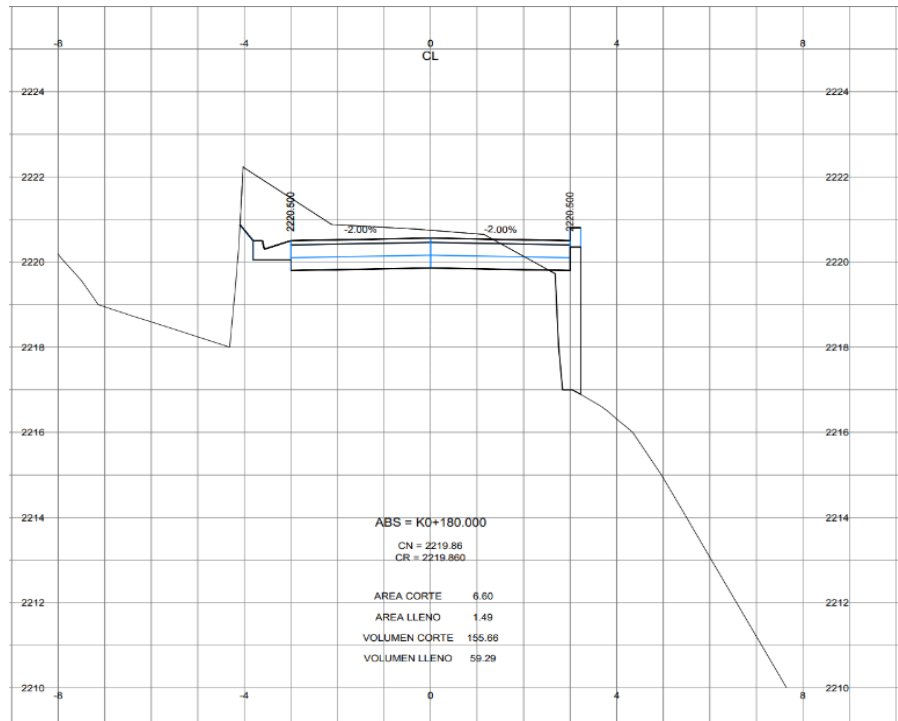


Ilustración 13: Sección Transversal del tramo K0+160 al K0+180

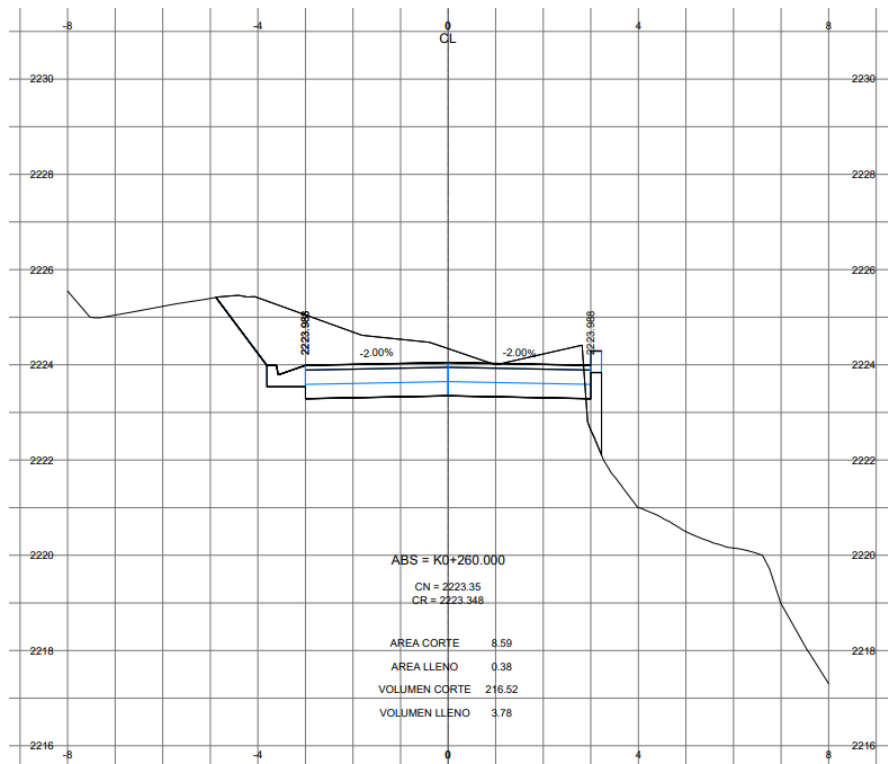


Ilustración 14: Sección Transversal del tramo K0+260 al K0+280

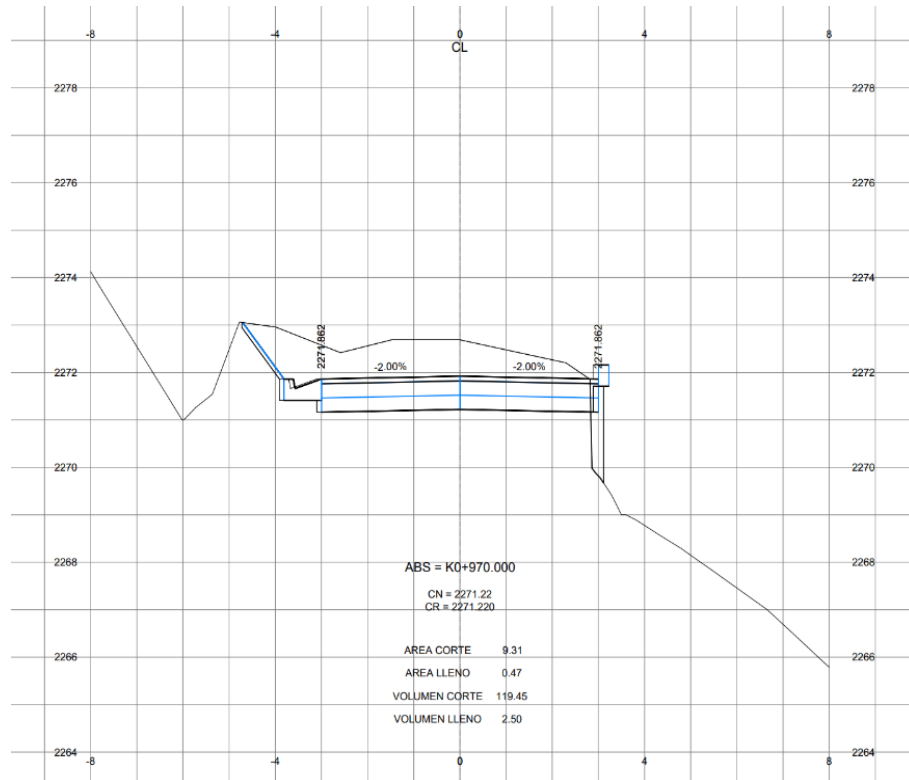


Ilustración 15: Sección Transversal del tramo K0+970 al K0+980

Una vez se tienen las secciones con las cuales empezar el diseño de los muros de contención se procede a identificar el tipo de suelo presente en la zona, el cual es una arcilla limosa cuyas propiedades se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19: Características del suelo presente en la zona.

Características del suelo				
Tipo	h (m)	γ (kN/m³)	ϕ' (°)	C' (kPa)
Gravas y arenas mal gradadas	11	17,2	30	14,6

Cabe resaltar que el suelo de corte no va a ser utilizado como suelo de relleno, por tanto, se tienen las siguientes características de suelo de relleno presentados en la tabla 20.

Tabla 20: Características de relleno

Características del suelo				
Tipo	h (m)	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)
Gravas y arenas mal gradadas. Gp-Sp	11	17,2	39	0

El nivel freático no va a ser tenido en cuenta, ya que al ser una zona montañosa y al estar un afluyente en la zona baja de la ladera donde se ubica la carretera este va a estar muy por debajo del estrato de suelo influenciado por la construcción de la vía. Se decidió por la implementación de un muro en voladizo para los 3 tramos, debido a su facilidad constructiva y a la ubicación de esta obra geotécnica.

A continuación, en la ilustración 16 a 18, se muestra el dimensionamiento de cada uno de los muros.

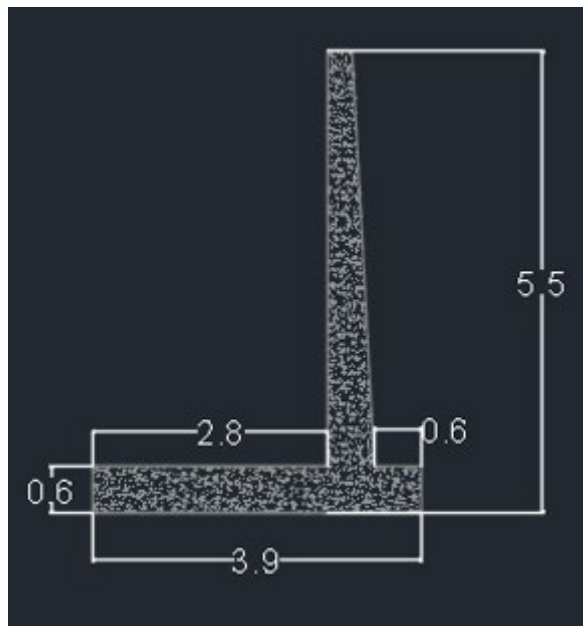


Ilustración 16: Dimensionamiento Muro de contención K0+180 – K0+200

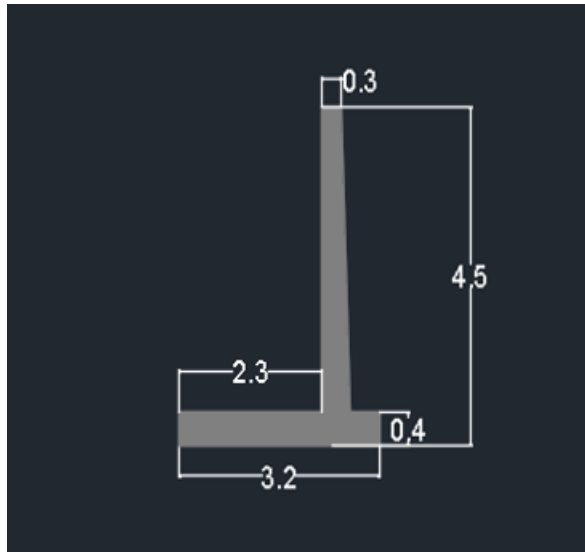


Ilustración 17: Dimensionamiento Muro de contención K0+260– K0+280

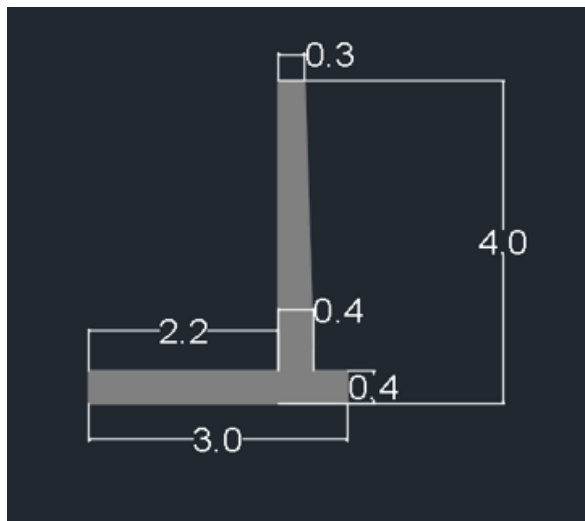


Ilustración 18: Dimensionamiento Muro de contención K0+970– K0+980

Una vez realiza el dimensionamiento de cada muro, se procede a realizar la localización de cada uno de estos en el perfil, al igual que sus despieces de acero respectivos. La localización y el despiece de cada muro se presentan en la ilustración 19 a 24.

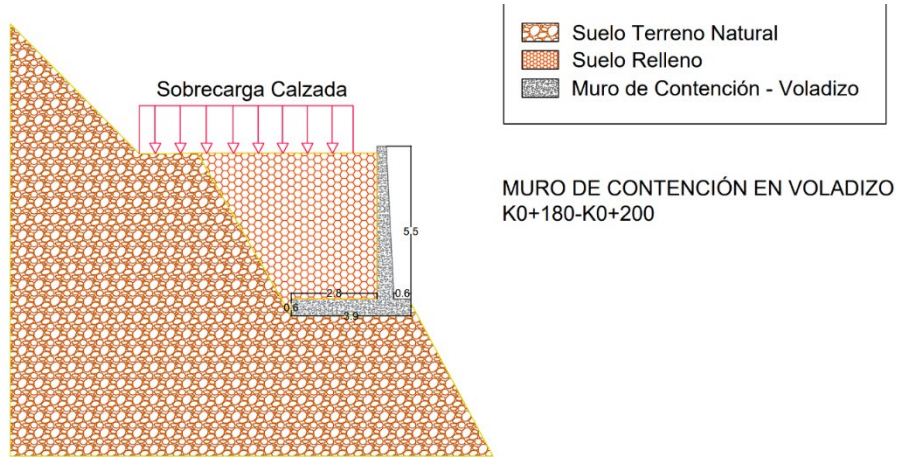


Ilustración 19: Localización muro K0+180 – K0+200

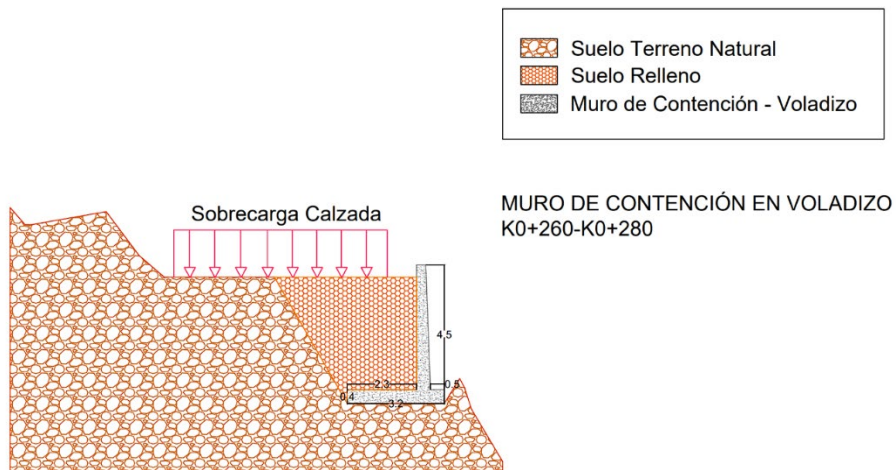


Ilustración 20: Localización muro K0+260 – K0+280

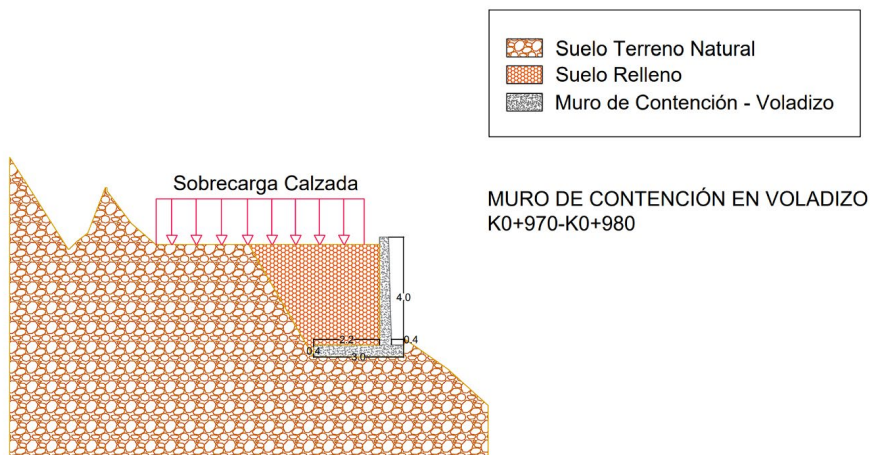


Ilustración 21: Localización muro K0+970 – K0+980

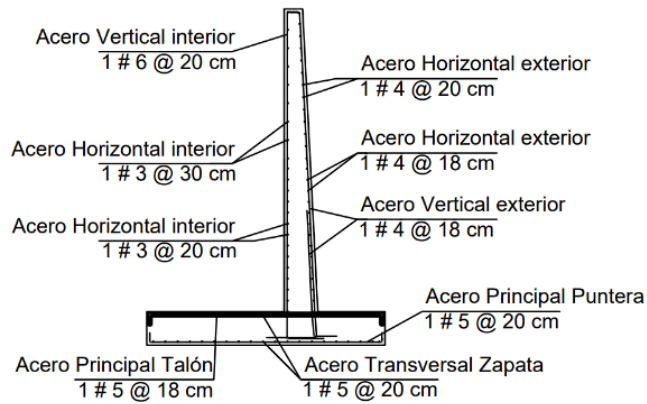


Ilustración 22: Despiece muro K0+180 – K0+200

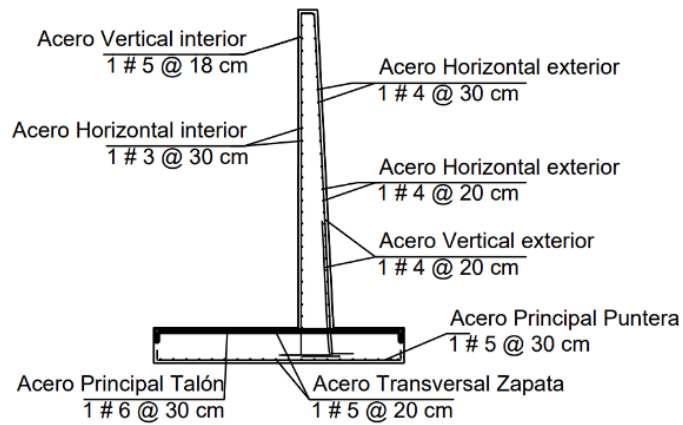


Ilustración 23: Despiece muro K0+260 – K0+280

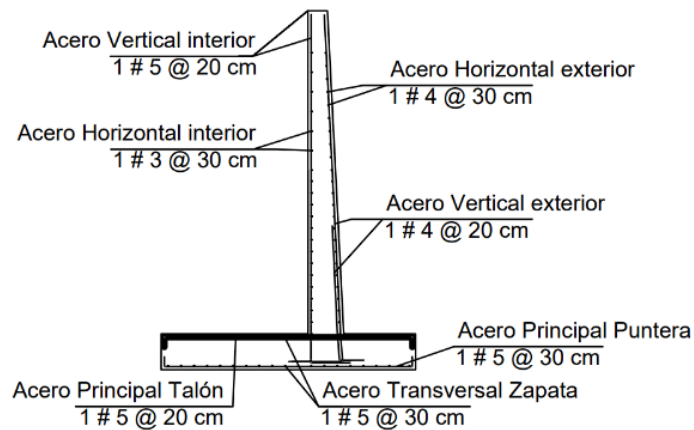


Ilustración 24: Despiece muro K0+970 – K0+980

El análisis de estabilidad realizado en Slide, cumplió con todos los factores de seguridad impuestos por la norma colombiana sismo resistente (NSR-10), tanto para el estudio estático como pseudo estático. Para el primer análisis se obtuvieron valores por encima de 1.5 y para el segundo análisis superiores a 1.05, cabe destacar que el coeficiente sísmico utilizado para este proyecto fue de 0.22, teniendo en cuenta que el proyecto se encuentra en una zona con alta influencia sísmica. Esto se puede observar en la ilustración 25-36.

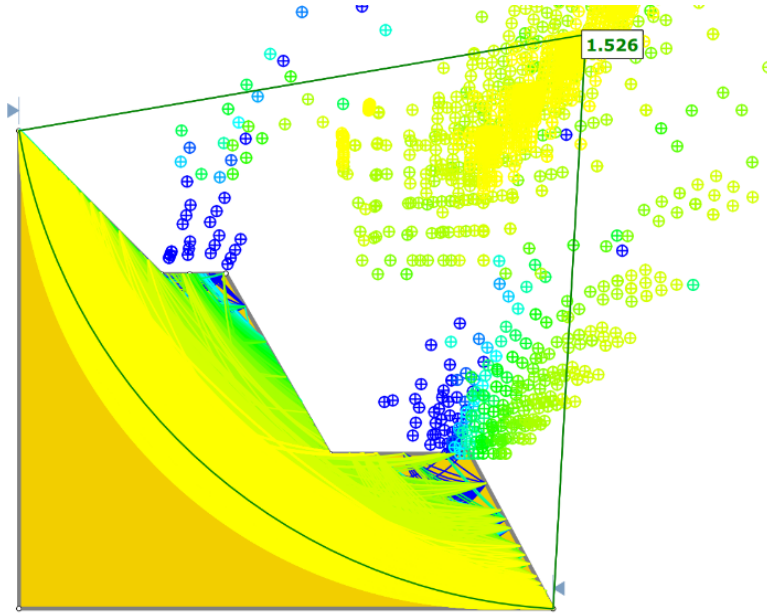


Ilustración 25: Análisis estático talud temporal Muro K0+180 – K0+200

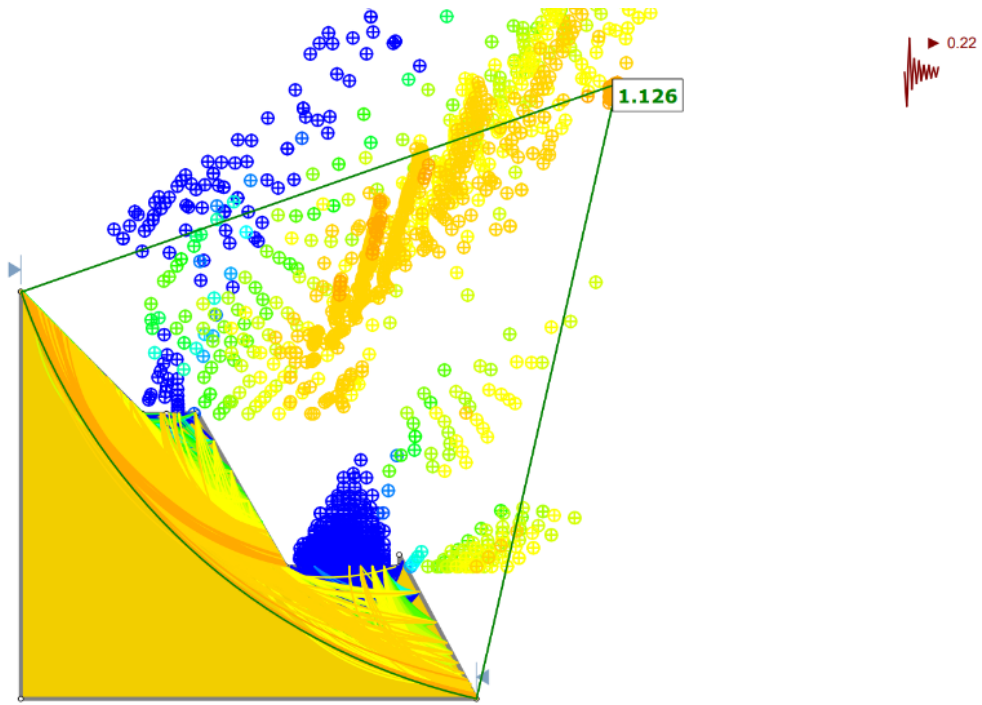


Ilustración 26: Análisis pseudoestático talud temporal Muro K0+180 – K0+200

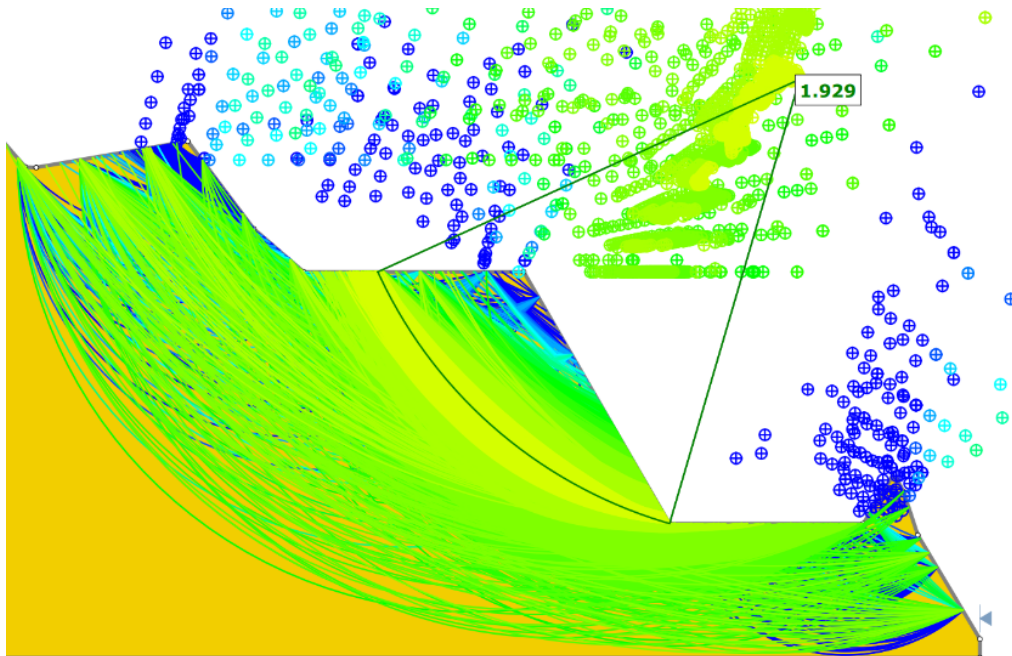


Ilustración 27: Análisis estático talud temporal Muro K0+260 – K0+280

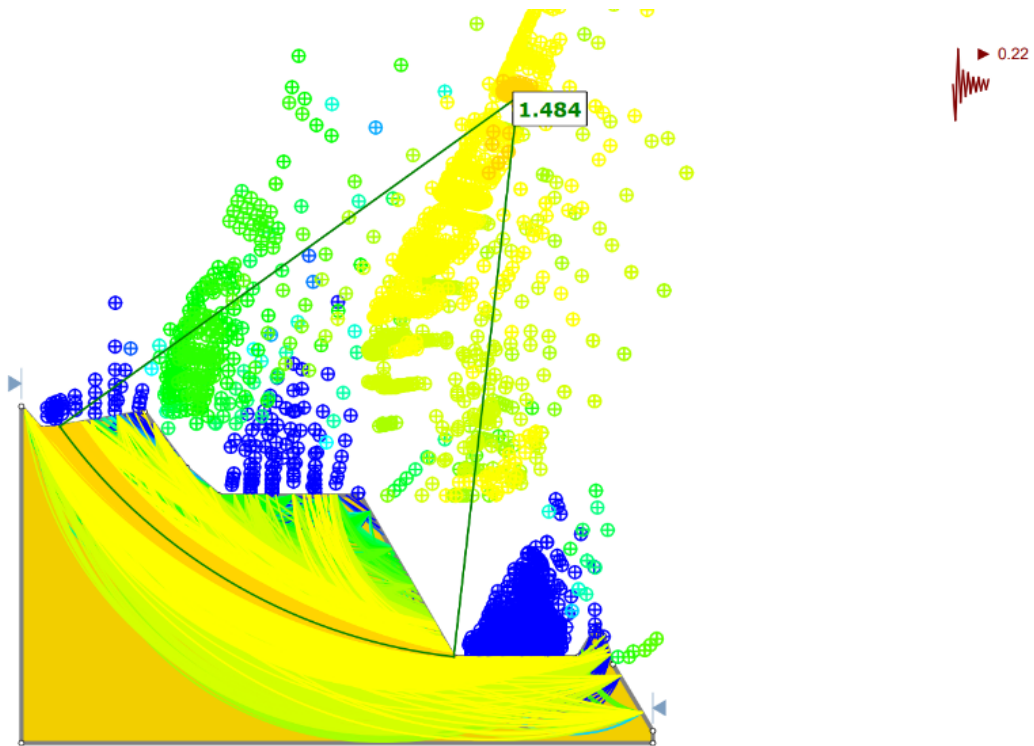


Ilustración 28: Análisis pseudoestático talud temporal Muro K0+260 – K0+280

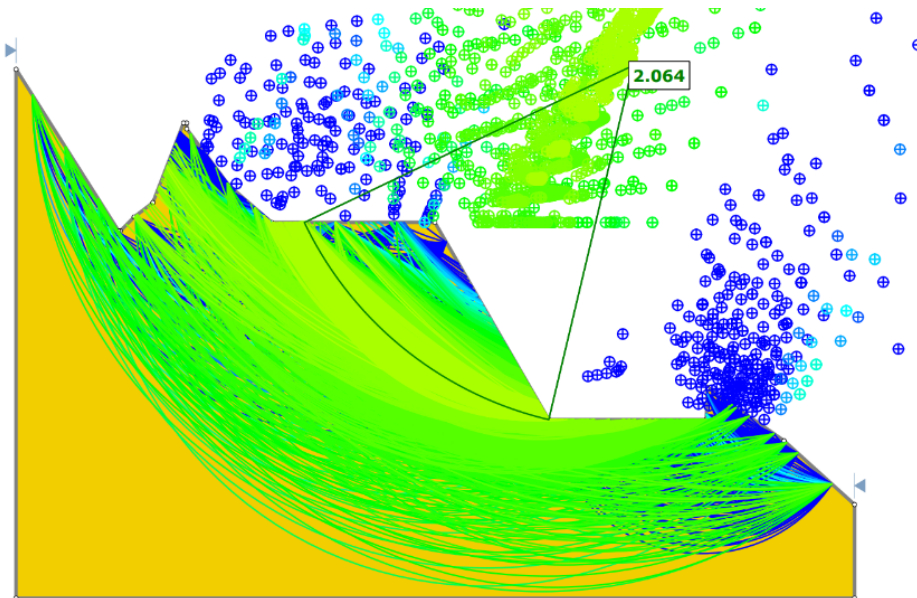


Ilustración 29: Análisis estático talud temporal Muro K0+970– K0+980

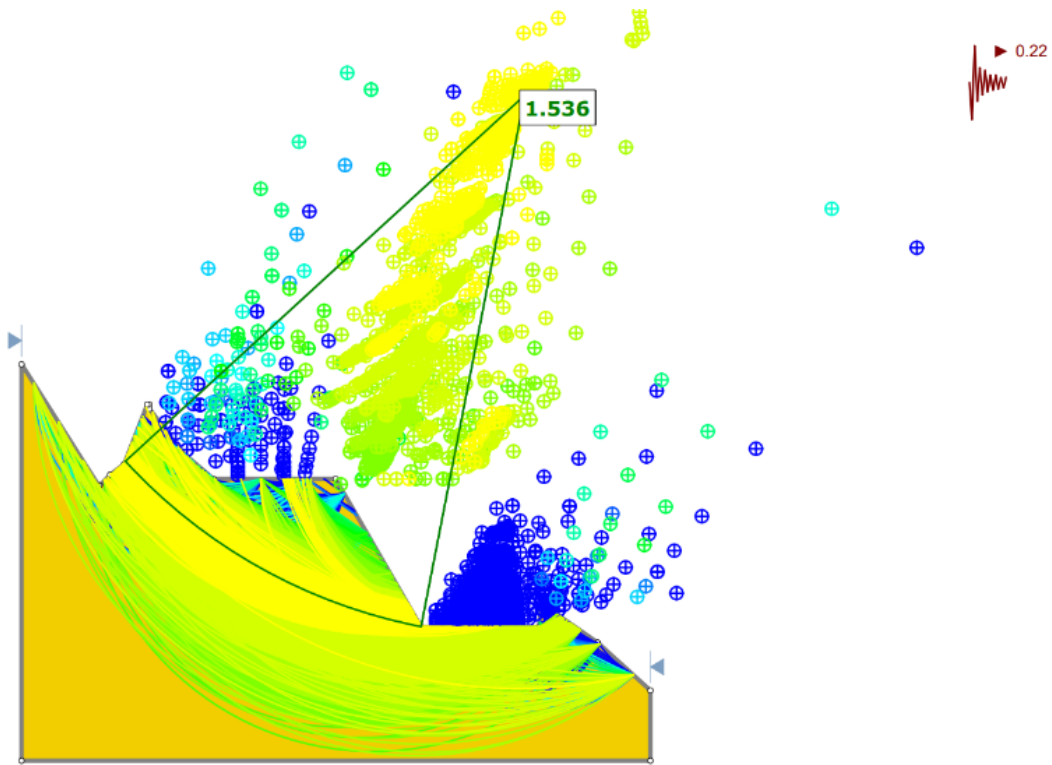


Ilustración 30: Análisis pseudoestático talud temporal Muro K0+970– K0+980

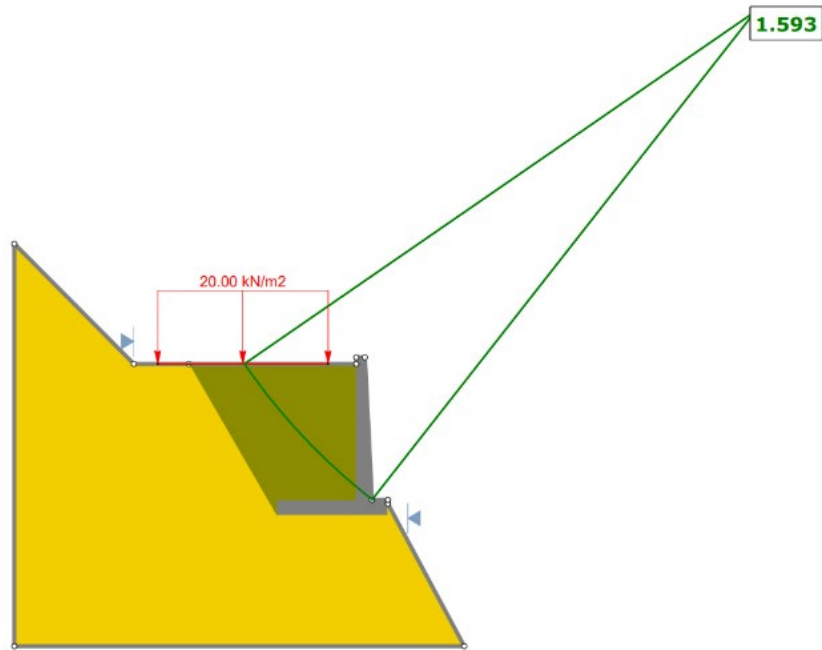


Ilustración 31: Análisis estático Muro K0+180– K0+200

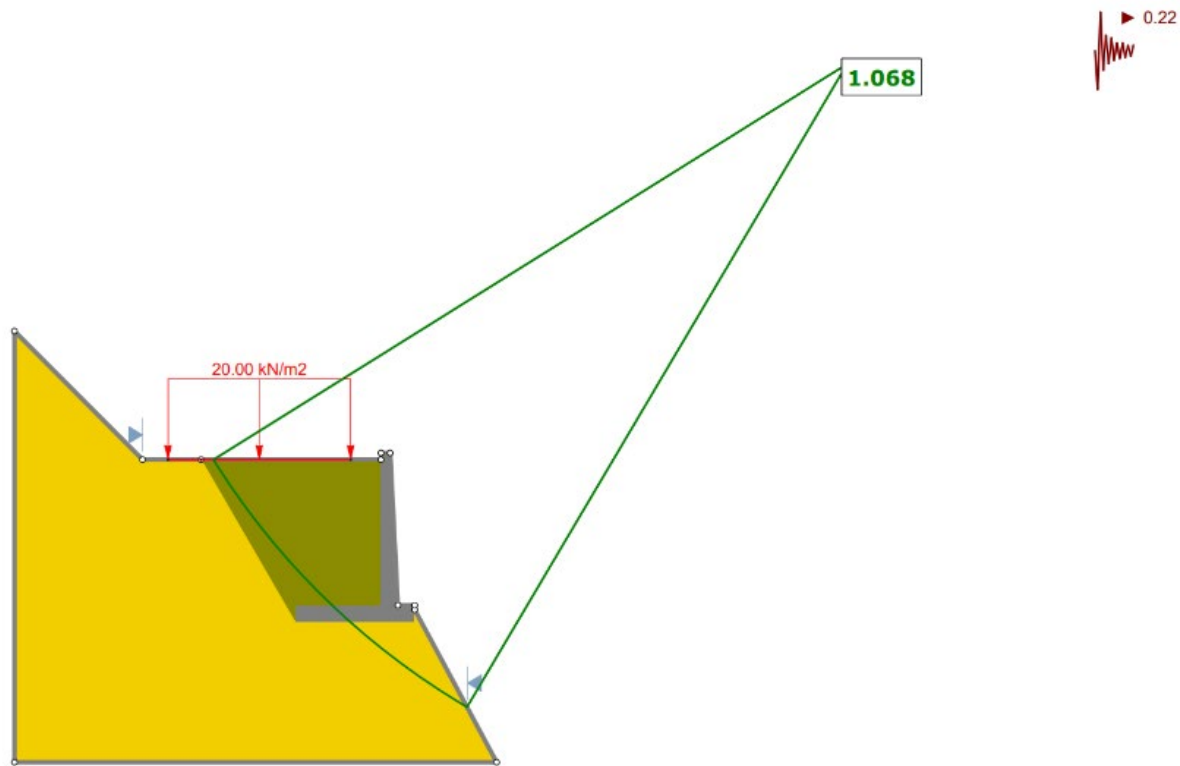


Ilustración 32: Análisis seudoestático Muro K0+180– K0+200

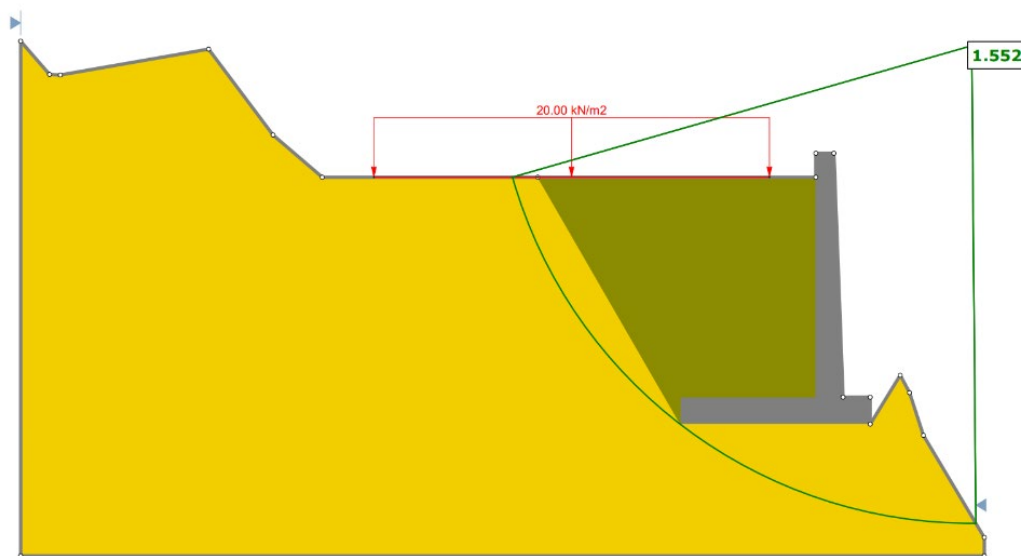


Ilustración 33: Análisis estático Muro K0+260– K0+280

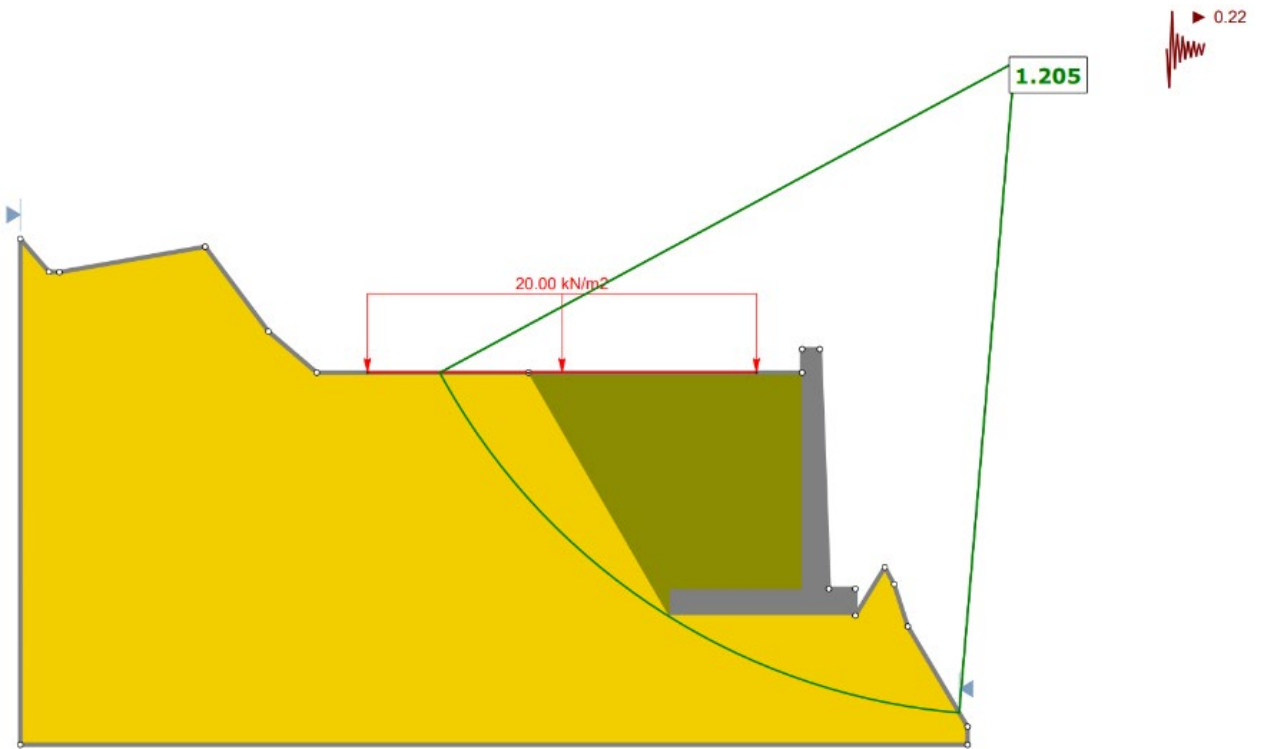


Ilustración 34: Análisis seudoestático Muro K0+180– K0+200

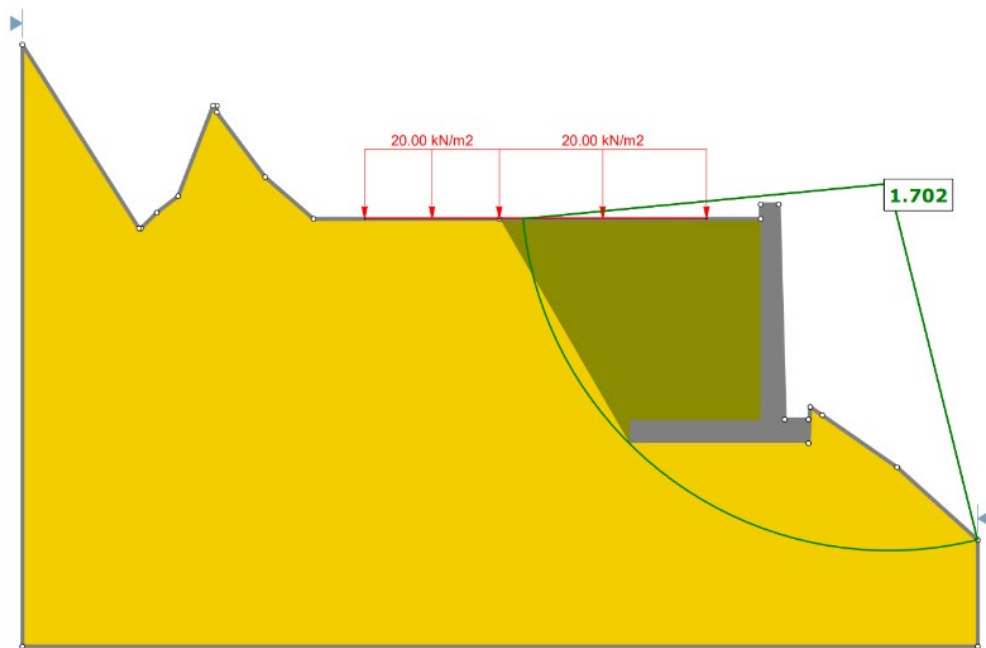


Ilustración 35: Análisis estático Muro K0+970– K0+980

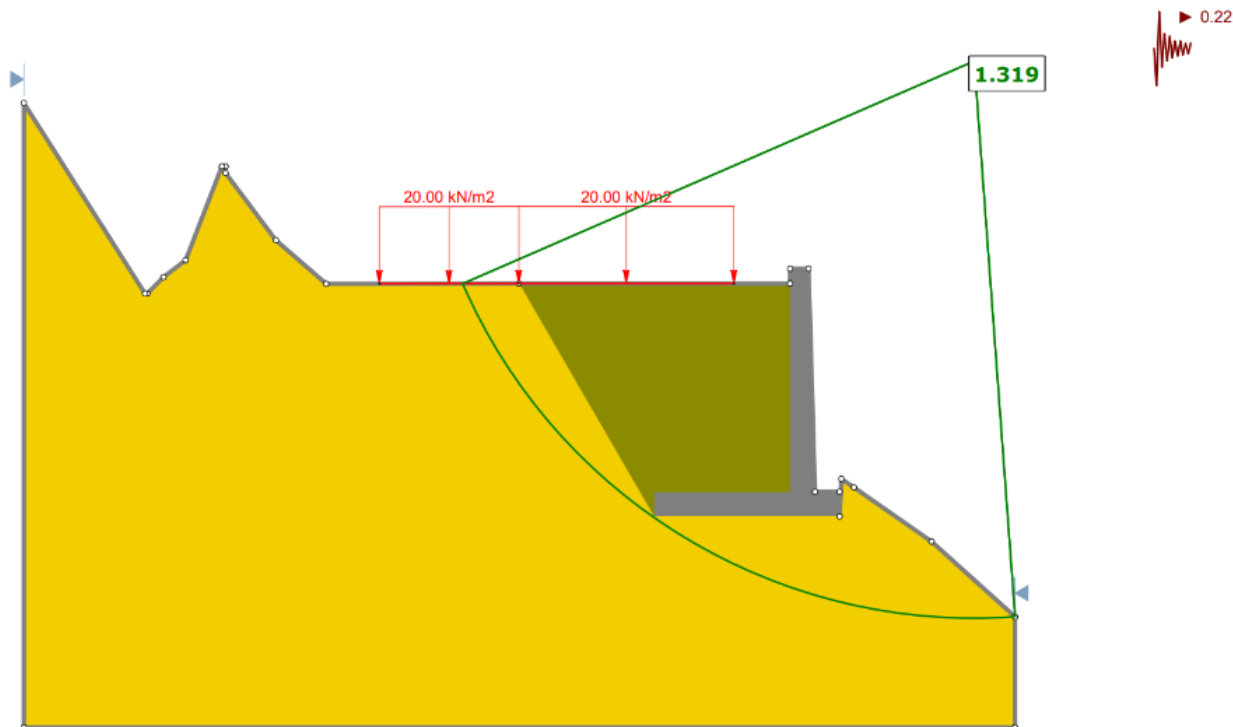


Ilustración 36: Análisis pseudoestático Muro K0+970– K0+980

9.3. Diseño de estructuras drenantes

El presente texto discute aspectos importantes sobre el drenaje vial en la construcción de carreteras, haciendo especial énfasis en el diseño y cálculo del caudal máximo. Se explican los diferentes tipos de drenajes, como las cunetas, alcantarillas, zanjas de coronación y canales, así como los métodos utilizados para determinar el caudal máximo, como el método racional. Se detalla el proceso de diseño, incluyendo el predimensionamiento y el chequeo de cumplimiento mediante la ecuación de Manning y la ecuación Racional.

9.3.1. Determinación de la Intensidad de la lluvia (mm/h) en la zona del proyecto

Como se mencionó en la metodología del diseño de estructuras drenantes, primero se debe determinar la curva IDF de la zona específica donde se realiza el proyecto, para ello, se toma la metodología

propuesta en la “Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella”, propuesta por el ministerio de transporte e INVIAS. Como primer paso se debe recolectar los datos de una estación pluviométrica de la zona, con los datos de la intensidad anuales en rangos de 24 horas. En el caso de Toribio, la Organización encargada de las estaciones de medición es la CVC, la cual cuenta con la estación 2612000103 que cuenta como últimos datos las mediciones del año 2020-2023, correspondiente a la zona de Toribio como se muestra en la siguiente Tabla 20.

Tabla 21. Datos estación Pluviométrica de Toribio



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA

Dirección Técnica Ambiental
Grupo Recursos Hídricos - Red de

ESTACIÓN: TORIBIO
CÓDIGO: 2612000103
CUENCA: Cauca
DEPARTAMENTO: Cauca
MUNICIPIO: TORIBIO
CORREGIMIENTO: Bodega
COORD. ESTE: 1090529,20
COORD. NORTE: 817680,80
ALTURA: 1713
CATEGORÍA: Pluviométrica
ENTIDAD: CVC
FECHA INICIO: 01/03/1971

PRECIPITACIÓN MENSUAL MÁXIMAS EN 24 HORAS (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2020	35,0	26,0	29,0	17,0	31,0	19,0	20,0	49,0	4,0	15,0	11,0<	20,0	49,0<
2021	***<	***<	***<	***<	32,0	24,0	25,0	16,0	27,0	25,0	73,0	57,0	73,0<
2022	55,0	40,0	37,0	26,0	20,0	25,0	29,0<	7,0	10,0	90,0	40,0	***<	90,0<
2023	65,0	60,0	67,0	48,0	63,0	3,0	***<	***<	***<	***<	***<	***<	67,0<
MÁXIMA	65,0<	60,0<	67,0<	48,0	63,0	25,0	29,0<	49,0<	27,0<	90,0<	73,0<	57,0<	90,0<
PROMEDIOS	51,7<	42,0<	44,3<	30,3<	36,5	17,8	24,7<	24,0<	13,7<	43,3<	41,3<	38,5<	69,8<
MÍNIMA	35,0<	26,0<	29,0<	17,0<	20,0	3,0	20,0<	7,0<	4,0<	15,0<	11,0<	20,0<	49,0<

***< = No Hay Dato
< = Dato Incompleto
Vacío = No Aplica

Para realizar la curva IDF se utiliza la intensidad promedio anual, la cual es de 69,8 mm/24 horas. Una vez se establece la intensidad se procede a distinguir los parámetros de diseño de ajuste según la región de la regresión. Estos parámetros dependen de la región en la cual se realiza el proyecto, Para ello la “Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella” proporciona una clasificación de regiones del mapa de Colombia.

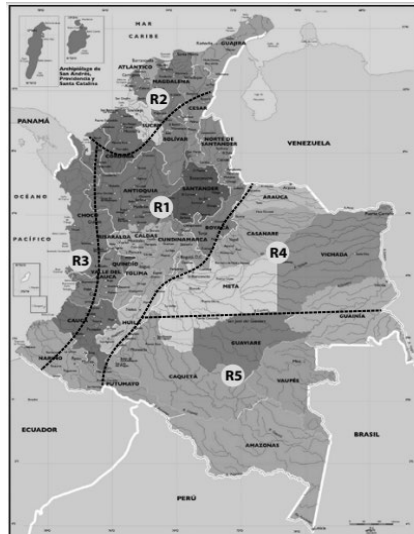


Ilustración 37. Clasificación Mapa de Colombia según Regiones

Como se puede observar la región que corresponde para Toribio Cauca es la Región 1, clasificada en la guía como la región Andina. Al conocer su clasificación se determinan los valores para los parámetros a, b, c y d. con la Tabla 22.

*Tabla 22: Parámetros según clasificación de regiones
Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella*

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

Como se observa en la Tabla 22, el valor de a es 0.94, el valor de b es 0.18, el valor de c es 0.66 y el valor de d es 0.83. Continuando con el procedimiento de la creación de la curva IDF, una vez se tiene la intensidad promedio, y los parámetros se hace uso de la siguiente ecuación para modelar la curva IDF, variando los periodos de retorno.

$$i = \frac{a \times T^b \times M^d}{\frac{t^c}{60}} [7]$$

Donde:

- I: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h)
- T: Periodo de retorno, en años
- M: Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual
- t: Duración de la lluvia en minutos (min)

Como se mencionó anteriormente se hace uso de la ecuación variando los diferentes tiempos de concentración junto la duración de la lluvia en minutos. Creando así la Tabla 23.

Tabla 23. Datos Curva IDF

Duración (min)	Periodo de retorno (Años)					
	2	5	10	20	25	50
10	117.840	138.970	157.437	178.358	185.668	210.340
20	74.578	87.951	99.639	112.879	117.505	133.120
30	57.068	67.301	76.244	86.376	89.916	101.864
40	47.199	55.662	63.059	71.439	74.366	84.249
50	40.735	48.040	54.424	61.656	64.183	72.711
60	36.117	42.593	48.253	54.665	56.906	64.468
70	32.623	38.473	43.586	49.377	51.401	58.231
80	29.871	35.228	39.909	45.212	47.065	53.319
90	27.637	32.593	36.924	41.830	43.545	49.331
100	25.781	30.403	34.444	39.021	40.620	46.017

Obteniendo así los diferentes resultados de intensidad dependiendo de la duración de la lluvia y el periodo de retorno en años se grafica cada una de las líneas IDF presente en la ilustración 38.

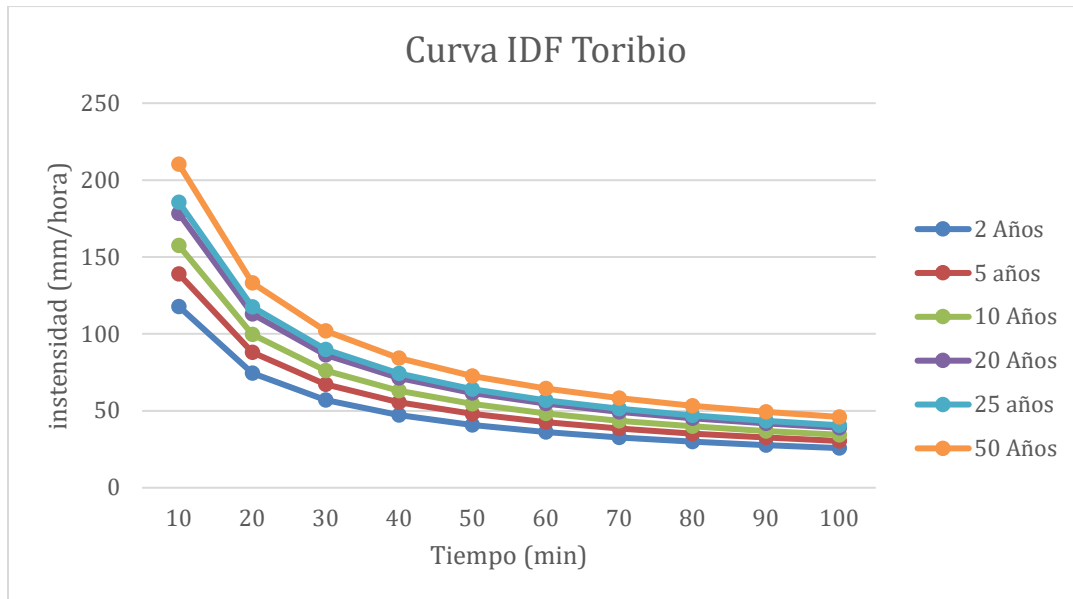


Ilustración 38. Curva IDF Toribio

Por último, una vez construida la curva IDF de la zona de Toribio. Se puede determinar las diferentes intensidades en mm/hora para el diseño de las estructuras drenantes. Estas estructuras tienen diferentes parámetros de periodo de retorno, para ello se basa en la Tabla 24 propuesta por el “Manual de Drenajes de Carretera” de INVIAS.

*Tabla 24. Periodos de retorno para el diseño de obras de drenaje vial
Fuente: Manual de drenajes para carreteras*

Obras de drenaje vial	Tr
Drenaje superficial	2
Cunetas	5
Zanjas de coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0.9m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10m)	25
Puentes de luz igual a 10m y menor a 50m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50m	100

Con todo ello, se tiene para las cunetas según la Tabla 24 con un periodo de retorno de 5 años, y la curva IDF en la38, una intensidad de diseño de 139 mm/hora. Y para las zanjas de coronación con periodos de retorno de 10 años una intensidad de diseño de 158mm/hora.

9.3.2. Dimensiones Berma-cuenta

La selección de la forma de la cuneta con sus dimensiones obedece a unas medidas y formas estándares dentro del sector de la construcción, para este caso, se selección una cuneta de tipo triangular con el fin de servir como berma-cuneta. A continuación en la ilustración 39, se presenta las dimensiones de la cuneta seleccionada.

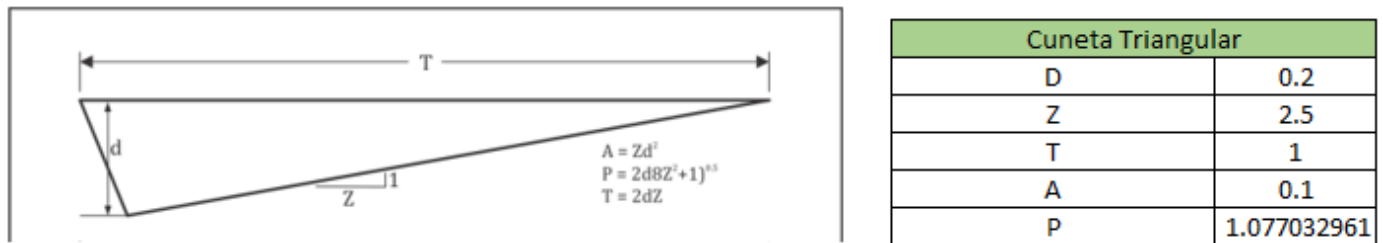


Ilustración 39 Dimensiones de cuneta triangular

9.3.3. Ubicación de las alcantarillas, capacidad de transporte y caudal real

Como se menciona en la metodología, se consultó el “Manual de Drenaje para Carreteras” del Ministerio de Transporte e INVIAS. Dicho manual establece una distancia llamada Ancho De Impluvium, la cual es una distancia que tienen en consideración el tipo de terreno, la clasificación del tipo de suelo, al ancho de la Berma-cuneta, la proyección del talud de corte y la capa de rodadura. Para el caso de toribio se optó por seleccionar la longitud de Impluvium más crítica para un terreno montañoso debido a la falta de clasificación de suelos y la inclinación del talud del diseño geométrico. Esta longitud se tomó de 25 metros como se muestra en la ilustración 40.

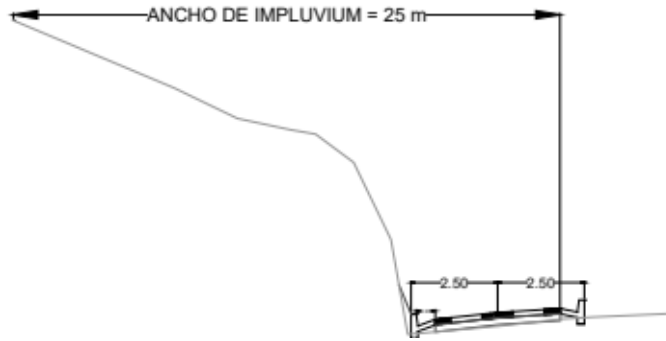


Ilustración 40 Ancho de Impluvium

El procedimiento que dicta el Manual de drenajes de Carreteras es igualar la ecuación de Manning con el área de la cuneta establecida anteriormente y las diferentes pendientes del trazado vial, junto con la ecuación racional donde tiene en cuenta la intensidad de lluvia, el coeficiente de escorrentía y el área aferente. La cual esta última, está relacionada con el ancho de Impluvium junto con el largo que se traduce en la distancia máxima en la cual dicha área de la cuneta podría transportar el agua de escorrentía. Esta longitud máxima permite conocer cada cuanto se debe construir una alcantarilla con su sistema de encole y descole para evacuar el agua lluvia recolectada.

Primero se debe establecer los parámetros de la ecuación racional, la intensidad ya se estableció con la Curva IDF en la ilustración 38, la cual es para cunetas de 139 mm/hora. Respecto a el coeficiente de escorrentía se hace uso de la Tabla 25 propuesta por el Manual para zonas rurales.

Tabla 25 Valores de Coeficiente de escorrentía en arras rurales
Fuente: Manual de drenajes para carreteras

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82
<small>Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.</small>			

Para el caso de Toribio Cauca, la textura del suelo se consideró como arcilloso, con una vegetación de tierras cultivadas y una topográfica montañoso debido a sus altas pendientes. Con todo esto se tiene un coeficiente de escorrentía de 0.82. Teniendo claro todos los parámetros necesarios se procede a igualar ambas ecuaciones.

$$Q = \frac{1}{n} \left(AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right) \quad [8]$$

Donde:

- Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m³/s)
- n: Coeficiente de rugosidad de Manning
- A: Área mojada, en metros cuadrados (m²)
- R: Radio hidráulico, en metros (m)
- S: Pendiente, en metros por metros (m/m)

$$Q_e = (C)(I)(AY) [9]$$

Donde:

- Q_e : Caudal de escorrentía en metros cuadrados por segundo (m^2/s)
- I : Intensidad para un tiempo de concentración ($mm/hora$)
- C : Coeficiente de escorrentía
- AY : Área aferente o tributaria en kilómetros cuadrados (km^2)
- S : Pendiente, en metros por metros (m/m)

Al igualar ambas ecuaciones se debe tener en cuenta que la pendiente no es constante durante todo el tramo vial, por ende, se debe ir variando lo cual hace que den diferentes caudales de transporte, y diferentes longitudes entre alcantarillas. Teniendo en cuenta lo dio anteriormente se tiene la siguiente Tabla 26 de datos para diferentes pendientes presentes en todo el tramo vial.

Tabla 26. Longitud entre alcantarillas según pendientes

A	0.1	m ²	C	0.82	
n de concreto	0.013		B (Ancho De Impluvium)	0.025	km
R	0.09284767		I	139	mm/h
Pendientes	caudal Manning	L Max (km)	L Max(m)	Caudal Racional	DEF
0.5	0.111529303	0.03913996	39.1399553	0.111529303	0E+00
1	0.157726252	0.05535226	55.3522556	0.157726252	0E+00
1.5	0.193174419	0.06779239	67.7923912	0.193174419	0E+00
2	0.223058605	0.07827991	78.2799106	0.223058605	0E+00
2.5	0.249387102	0.0875196	87.5196007	0.249387102	0E+00
3	0.273189883	0.09587292	95.8729191	0.273189883	0E+00
3.5	0.295078799	0.10355459	103.554588	0.295078799	0E+00
4	0.315452505	0.11070451	110.704511	0.315452505	0E+00
4.5	0.334587908	0.11741987	117.419866	0.334587908	0E+00
5	0.352686622	0.12377141	123.771406	0.352686622	0E+00
5.5	0.36990085	0.12981255	129.812546	0.36990085	0E+00
6	0.386348837	0.13558478	135.584782	0.386348837	0E+00
6.5	0.402124619	0.14112112	141.121116	0.402124619	0E+00
7	0.417304439	0.1464483	146.448303	0.417304439	0E+00
7.5	0.431951132	0.1515884	151.588395	0.431951132	0E+00
8	0.446117211	0.15655982	156.559821	0.446117211	0E+00
8.5	0.459847095	0.16137817	161.37817	0.459847095	-2E-14
9	0.473178757	0.16605677	166.056767	0.473178757	-2E-14
9.5	0.48614496	0.17060676	170.606759	0.48614396	1E-06
10	0.498774204	0.17503885	175.03885	0.498773204	1E-06

De esta forma se puede establecer las distancias de las alcantarillas dependiendo de la pendiente del camino, además se puede conocer el caudal real según la intensidad de lluvia y el área aferente.

9.3.4. Diseño de Zanjas de coronación

Para realizare el diseño de las zanjas de coronación se seleccionó el talud con la mayor longitud, el cual tendrá la mayor área aferente y por ende recolectaría la mayor cantidad de agua de escorrentía. Para esta selección se seleccionó el talud ubicado en el km X de la vía, con las coordenadas de inicio en

1094217.6270 m - 815686.3368 m y coordenadas finales en 1094203.6194m - 815561.1166m, según el sistema de referencia Magna Sirgas Bogotá West Zone.

Para el cálculo del área de la cuenca se optó por hacer uso del programa QGIS que es una herramienta potente que permite a los usuarios crear, visualizar, editar, analizar y compartir datos geoespaciales. De esta manera, se permite modelar la cuenca teniendo en cuenta las elevaciones del terreno, esto se consiguió mediante el uso de la opción de Opentopography dem, que incluye el programa. Una vez se obtiene el modelo digital de elevación, se procede a dibujar un polígono que delimite la zona de la cuenca, la cual es el área de recolección de escorrentía considerada para el cálculo del caudal máximo de diseño. El programa calcula esta área, dividiendo el polígono anteriormente dibujado en cuadrados, calculando el área de cada uno de ellos y sumándolos. Obteniendo como resultado que la cuenca cuenta con un área de 0.117 Km². Se distribuye en la topografía como se observa en la 41.

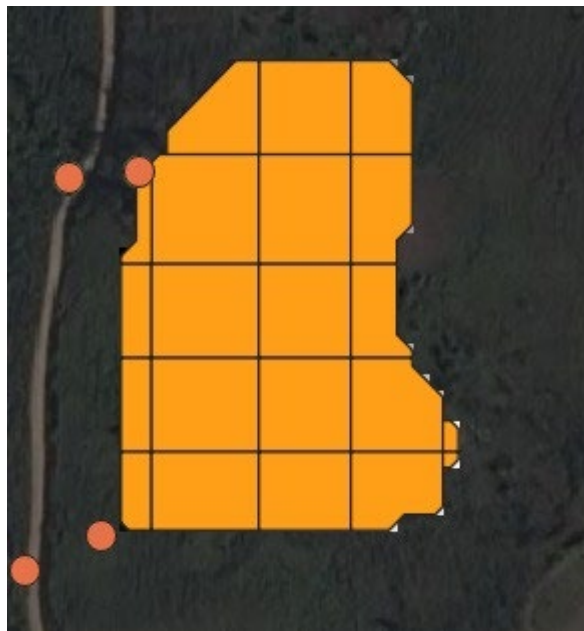


Ilustración 41. Área de la cuenca del talud

Después de determinar el área aferente de la cuenca, se procede a determinar la intensidad de lluvia, la cual se obtiene consultando el periodo de retorno específico de la estructura el cual se encuentra en la Tabla 24 del Manual de drenajes de carreteras de INVIAS. Dicha Tabla clasifica a las zanjas de coronación

con un periodo de retorno de 10 años, junto con la curva IDF creada anteriormente en la Ilustración 16. Se tiene una intensidad máxima de 158 mm/hora.

Por otra parte, es necesario volver a establecer el coeficiente de escorrentía de la zona, este ya fue determinado en el diseño de cunetas. Teniendo en cuenta la Tabla 25 de coeficiente para zonas rurales, dicho coeficiente para un suelo arcilloso, con una topografía montañosa es de 0.82.

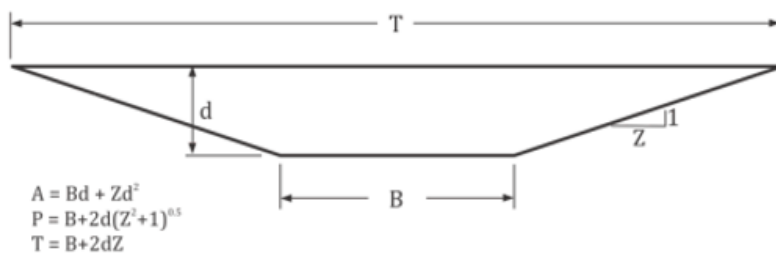
De esta forma, se procede a calcular el caudal máximo que se presenta en la zanja de coronación, haciendo uso de la ecuación Racional con todos los parámetros anteriormente nombrados.

$$Q_p = CiA \quad [10]$$

Donde:

- C: coeficiente de escorrentía
- i: Intensidad de lluvia en mm/h
- A: Área aferente de la cuenca en Km²

Con la ecuación Racional se determinó que el caudal máximo de las Zanjas de coronación es de 0.0423 M³/s o 42.3 L/s. Conociendo entonces el caudal máximo que debe transportar la estructura se procede a diseñar las medidas y la forma de la zanja que tenga la capacidad de transporte requerida. Para este caso se selecciona un canal trapezoidal con las siguientes medidas mostradas en la ilustración 42.



Canal Trapezoidal	
D	0.5
B	0.3
Z	0.1
T	0.4
A	0.175
P	1.304987562

Ilustración 42. Medidas canal Trapezoidal

Dichas medidas corresponden a su vez a las medidas mínimas recomendadas en la “Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella”. Por ende, se debe chequear la capacidad de este para rectificar si efectivamente cumple con los requerimientos del proyecto. Para ello se hace uso de la Ecuación de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} \left(AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right) \quad [11]$$

Donde:

Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m³/s)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

A: Área mojada, en metros cuadrados (m²)

R: Radio hidráulico, en metros (m)

S: Pendiente, en metros por metros (m/m)

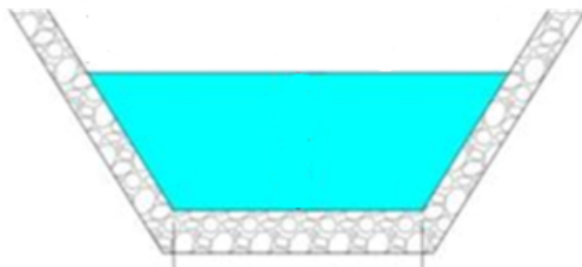
Basados en la anterior ecuación se evalúa la capacidad del canal. En este caso se selecciona una pendiente de 1% como inclinación del canal de transporte mínima de las zanjas en las zonas de explanación ubicadas en la parte superior de los taludes. Definidos todos los parámetros se tiene la siguiente capacidad del canal mostrados en la tabla 27.

Tabla 27 Capacidad del canal trapezoidal

Capacidad del canal trapezoidal	
A	0.175
S	0.01
R	0.134100895
n de suelo-cemento	0.018

Caudal manning	0.2547143	M3/S
----------------	-----------	------

Por último, se evalúa el factor de seguridad y el cumplimiento de la estructura drenante, comparando el caudal máximo con el caudal de diseño de la estructura. Donde se obtiene un Factor de seguridad mayor a seis, como se observa en la ilustración 43.



El dimensionamiento o diseño hidráulico de la cuneta consiste en verificar que la capacidad hidráulica de la estructura, estimada con la expresión de Manning, sea superior al caudal de diseño.

Q Maximo	0.042251058	M3/S
Q diseño	0.2547143	M3/S
Chequeo	Cumple	
Fs	6.03	

Ilustración 43. Chequeo de cumplimiento

Teniendo en cuenta todas las recomendaciones del Manual de drenajes de carretera respecto a la ubicación de las zanjas de coronación respecto a los taludes, se tiene la siguiente representación con las medidas seleccionadas y la ubicación en vista perfil de la estructura drenante mostradas en la ilustración 44.

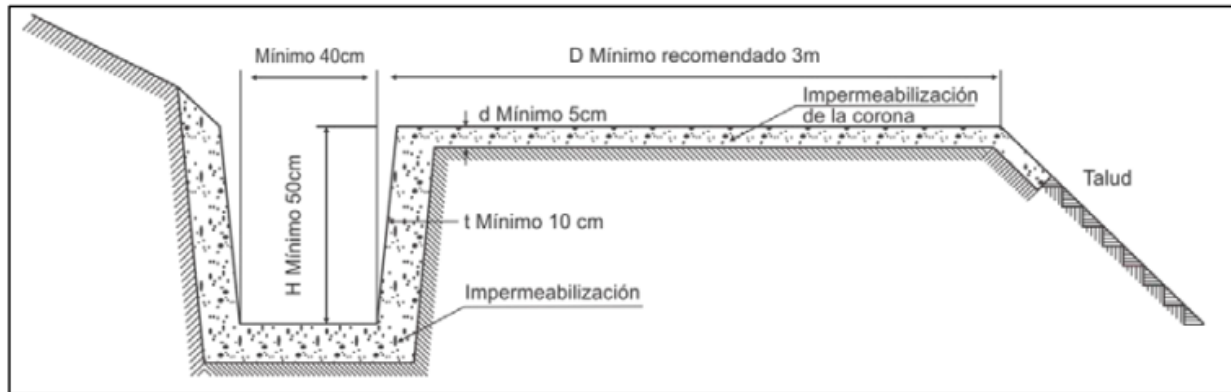


Ilustración 44. Vista perfil Zanja drenaje

Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella

9.3.5. Dimensiones y vista aérea de sistema de encole y descole

Primero se procede a establecer la estructura que permitirá recolectar las aguas lluvias tanto de las zanjas de coronación como de las Berma-cunetas. Para ello, se optó por el uso de Boxculverts. Con dimensiones que permitan recolectar ambos caudales y permitan la instalación de las tuberías de drenaje para transportar el agua de escorrentía. Las dimensiones seleccionadas son de 1.40 metros de ancho, 1.8 metros de largo y 2.2 metros de alto. Los muros o las paredes de la caja son de 20 cm de grosor lo que nos da unas medidas internas útiles de 1 metro de ancho, 1.4 metros de largo y 2 metros de alto, dando una capacidad neta de 2,8 m³ de agua.

Para el diseño de las tuberías se consultó el manual PAVCO, de tuberías de alcantarillas de la referencia de Novafort, donde describe en Tablas los diferentes diámetros de tuberías con su capacidad de descarga máxima según la pendiente de diseño de la alcantarilla. Como se muestra a continuación en la tabla 28.

Tabla 28: Referencia de tuberías Novafort
Fuente: PAVCO

Material	NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO		NOVAFORT		CONCRETO	
D. Nominal	24"		600mm		27"		700mm		30"		800mm		33"		850mm	
D. Interno mm	595		600		670		700		747		800		824		838,2	
Pendiente %	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)	V (m/s)	Q (L/s)
0,1	0,99	274,3	0,69	194,2	1,07	376,4	0,76	292,9	1,15	503,1	0,83	418,2	1,23	653,6	0,86	473,6
0,2	1,40	387,9	0,97	274,6	1,51	532,3	1,08	414,2	1,62	711,5	1,18	591,4	1,73	924,3	1,21	669,7
0,3	1,71	475,1	1,19	336,3	1,85	652,0	1,32	507,3	1,99	871,4	1,44	724,3	2,12	1132,0	1,49	820,2
0,4	1,97	548,5	1,37	388,3	2,14	752,8	1,52	585,8	2,30	1006,2	1,66	836,3	2,45	1307,1	1,72	947,1
0,5	2,21	613,3	1,54	434,2	2,39	841,7	1,70	654,9	2,57	1125,0	1,86	935,0	2,74	1461,4	1,92	1058,9
0,6	2,42	671,8	1,68	475,6	2,62	922,0	1,86	717,4	2,81	1232,4	2,04	1024,3	3,00	1600,9	2,10	1160,0
0,7	2,61	725,7	1,82	513,7	2,82	995,9	2,01	774,9	3,04	1331,1	2,20	1106,4	3,24	1729,1	2,27	1252,9
0,8	2,79	775,8	1,94	549,2	3,02	1064,7	2,15	828,4	3,25	1423,0	2,35	1182,7	3,47	1848,5	2,43	1339,4
0,9	2,96	822,8	2,06	582,5	3,20	1129,3	2,28	878,7	3,44	1509,3	2,50	1254,5	3,68	1960,7	2,57	1420,7
1	3,12	867,3	2,17	614,0	3,38	1190,3	2,41	926,2	3,63	1591,0	2,63	1322,4	3,88	2066,7	2,71	1497,5
1,5	3,82	1062,3	2,66	752,0	4,14	1457,9	2,95	1134,3	4,45	1948,5	3,22	1619,5	4,75	2531,2	3,32	1834,1
2	4,41	1226,6	3,07	868,3	4,77	1683,4	3,40	1309,8	5,13	2250,0	3,72	1870,1	5,48	2922,8	3,84	2117,8
2,5	4,93	1371,4	3,43	970,8	5,34	1882,1	3,81	1464,4	5,74	2515,5	4,16	2090,8	6,13	3267,8	4,29	2367,8
3	5,40	1502,3	3,76	1063,5	5,85	2061,7	4,17	1604,2	6,29	2755,6	4,56	2290,4	6,71	3579,7	4,70	2593,7
3,5	5,84	1622,6	4,06	1148,7	6,32	2226,9	4,50	1732,7	6,79	2976,4	4,92	2473,9	7,25	3866,5	5,08	2801,6
4	6,24	1734,7	4,34	1228,0	6,75	2380,7	4,81	1852,4	7,26	3181,9	5,26	2644,7	7,75	4133,4	5,43	2995,0
4,5	6,62	1839,9	4,61	1302,5	7,16	2525,1	5,11	1964,8	7,70	3375,0	5,58	2805,1	8,22	4384,2	5,76	3176,7
5	6,98	1939,4	4,86	1373,0	7,55	2661,7	5,38	2071,0	8,12	3557,5	5,88	2956,9	8,67	4621,3	6,07	3348,5
5,5	7,32	2034,1	5,09	1440,0	7,92	2791,6	5,64	2172,1	8,51	3731,2	6,17	3101,2	9,09	4846,9	6,36	3511,9
6	7,64	2124,5	5,32	1504,0	8,27	2915,7	5,90	2268,7	8,89	3897,1	6,44	3239,1	9,49	5062,4	6,65	3668,1
6,5	7,95	2211,3	5,54	1565,4	8,61	3034,8	6,14	2361,3	9,26	4056,2	6,71	3371,3	9,88	5269,1	6,92	3817,9
7	8,25	2294,7	5,75	1624,5	8,93	3149,4	6,37	2450,5	9,60	4209,3	6,96	3498,6	10,25	5468,0	7,18	3962,0
7,5	8,54	2375,3	5,95	1681,5	9,25	3259,9	6,59	2536,5	9,94	4357,1	7,20	3621,4	10,61	5659,9	7,43	4101,1
8	8,82	2453,2	6,14	1736,7	9,55	3366,8	6,81	2619,7	10,27	4499,9	7,44	3740,2	10,96	5845,5	7,68	4235,6
8,5	9,09	2528,7	6,33	1790,1	9,84	3470,4	7,02	2700,3	10,58	4638,4	7,67	3855,3	11,30	6025,4	7,91	4365,9
9	9,36	2602,0	6,51	1842,0	10,13	3571,0	7,22	2778,6	10,89	4772,9	7,89	3967,1	11,63	6200,1	8,14	4492,5
9,5	9,61	2673,3	6,69	1892,5	10,41	3668,9	7,42	2854,7	11,19	4903,7	8,11	4075,8	11,95	6370,0	8,36	4615,6
10	9,86	2742,7	6,87	1941,7	10,68	3764,2	7,61	2928,9	11,48	5031,1	8,32	4181,6	12,26	6535,5	8,58	4735,5
10,5	10,11	2810,5	7,04	1989,6	10,94	3857,2	7,80	3001,2	11,76	5155,3	8,52	4284,9	12,56	6696,9	8,79	4852,5
11	10,35	2876,6	7,20	2036,4	11,20	3947,9	7,98	3071,8	12,04	5276,7	8,73	4385,7	12,85	6854,5	9,00	4966,6
11,5	10,58	2941,3	7,36	2082,2	11,45	4036,7	8,16	3140,9	12,31	5395,2	8,92	4484,3	13,14	7008,6	9,20	5078,3
12	10,81	3004,5	7,52	2127,0	11,70	4123,5	8,34	3208,4	12,58	5511,3	9,11	4580,8	13,43	7159,3	9,40	5187,5
12,5	11,03	3066,5	7,68	2170,9	11,94	4208,5	8,51	3274,6	12,83	5624,9	9,30	4675,2	13,70	7306,9	9,59	5294,5

Teniendo en cuenta el caudal generado con la suma del caudal mayor que corresponde a la cuneta en un terreno con una pendiente de 10% junto con el caudal máxima del área aferente critica de las zanjas de coronación. Se tiene un caudal máximo de 541.025 L/s. Teniendo en cuenta el manual de PAVCO y el diseño de la alcantarilla el cual tiene una pendiente del 1%, se selecciona una tubería de NOVAFORT de 24 pulgadas con una capacidad de 867.3 L/s.

Teniendo en cuenta la capacidad de la tubería propuesta y el caudal máximo que trasporta el trazado vial en todos sus tramos, se procede a calcular el factor de seguridad de drenaje como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29. Factor de seguridad Tubería

Factor de seguridad		
Q Máximo	541.0252627	L/S
Q diseño	867.3	L/S
Chequeo	Cumple	
Fs.	1.6	

9.3.6. Distribución de aceros y despiece estructuras drenantes

El componente estructural en las alcantarillas es esencial no solo para la funcionalidad inmediata del sistema de drenaje, sino también para su sostenibilidad a largo plazo, seguridad pública y protección ambiental. Invertir en un diseño y materiales de alta calidad puede prevenir problemas futuros y asegurar una infraestructura de alcantarillado eficiente y duradera.

Para garantizar el cumplimiento de la normativa y los factores de seguridad, se tomó como guía la Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales. Propuesta por INVIAS donde describen diferentes métodos de cálculo de refuerzos estructurales y su respectiva distribución de aceros. Como primera estructura drenante se tiene el diseño de aceros para las aletas y los muros que la componen, los cuales pertenecen al descole de la alcantarilla. A continuación, se presenta el diseño en la Ilustración 45 y 46.

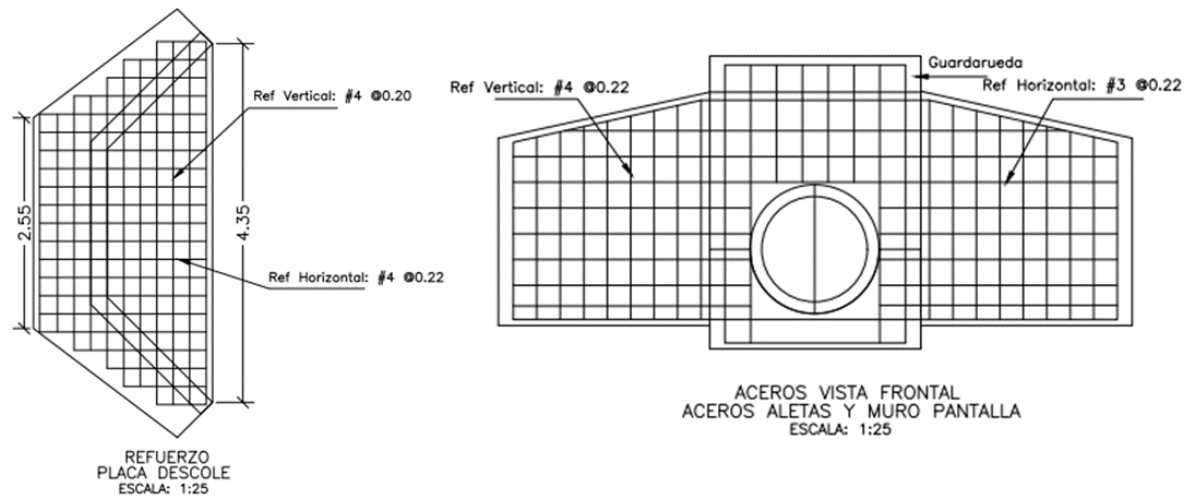


Ilustración 45. Distribución Aceros Aleta descole

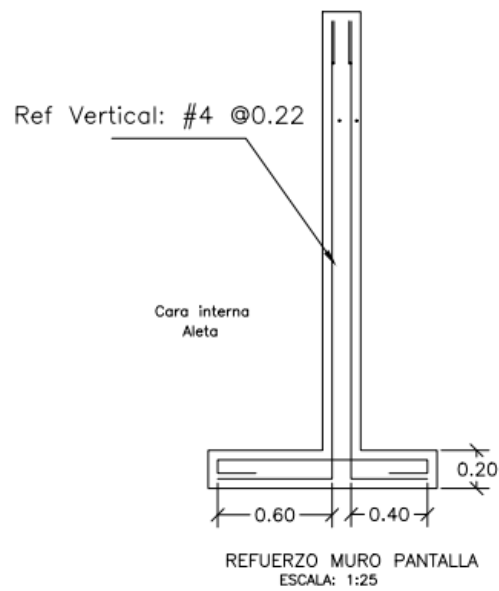


Ilustración 46. Distribución aceros muros de aleta de descole

En la 45 e 6, se presentan de manera grafica la distribución de los aceros de refuerzos de la aleta y del muro. A continuación, se presenta una tabla detallada donde muestra específicamente la cantidad de varillas del refuerzo vertical tanto del muro como de la aleta. Como se muestra en la tabla 30.

Tabla 30. Refuerzo Vertical aleta y muros

REFUERZO VERTICAL ALETAS Y MURO				
ITEM	Ø	Long (m)	Cant.	Peso Total Kg
MURO	4	3.20	4	12.72
	4	3.00	4	11.93
	4	1.40	8	11.13
	3	1.64	8	7.35
ALETAS CARA INTERNA	4	2.26	2	4.49
	4	2.22	2	4.41
	4	2.18	2	4.33
	4	2.14	2	4.25
	4	2.10	2	4.17
	4	2.06	2	4.10
	4	2.02	2	4.02
	4	1.98	2	3.94
	4	1.94	2	3.86
ALETAS CARA EXTERNA	4	2.30	2	4.57
	4	2.26	2	4.49
	4	2.22	2	4.41
	4	2.18	2	4.33
	4	2.14	2	4.25
	4	2.10	2	4.17
	4	2.06	2	4.10
	4	2.02	2	4.02
	4	1.98	2	3.94
SUBTOTAL				118.99

Respecto a la poceta o caja de recolección, se procede a un diseño recomendado por la Cartilla de obras menores de drenajes y estructuras viales de INVIAS, que corresponde a un diseño predeterminado de aceros debido a una medida estándar de la caja de recolección, Este diseño se presenta a continuación de manera grafica en la Ilustración 49.

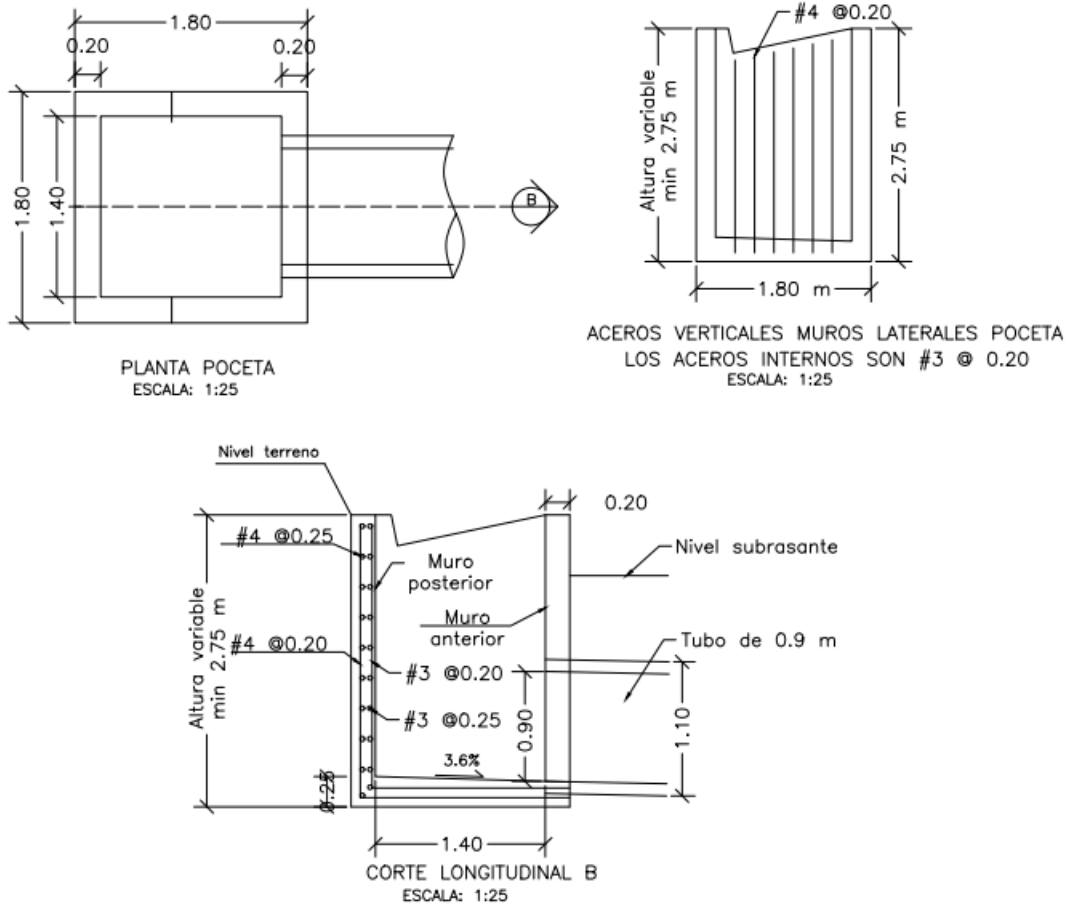


Ilustración 47. Distribución aceros de refuerzo caja

Como se describió para la aleta y los muros, también se realizó una tabla que describe la cantidad de varillas de refuerzo que se van a utilizar para realizar una poceta o caja, las cuales se describen a continuación en la tabla 31.

Tabla 31. Tabla de aceros de refuerzo para la poceta

ITEM	REFUERZO POCETA			Peso Total Kg
	Ø	Long (m)	Cant.	
POCETA	4	4.24	9	37.93
	3	3.90	9	19.66
	4	2.06	1	2.05
	3	1.86	1	1.04
	4	3.34	1	3.32
	3	2.94	1	1.65
	4	3.48	6	20.75
	3	5.80	6	19.49
	4	5.90	3	17.59
	3	4.70	3	7.90
	4	2.28	4	9.07
	3	2.28	4	5.11
	4	2.08	8	16.54
	3	2.08	8	9.32
	4	1.54	4	6.12
	4	1.36	4	5.41
	4	1.28	4	5.09
	SUBTOTAL			188.03

Por último, es necesario realizar un refuerzo con acero a la cuneta, debido a que fue diseñada para ser Berma-cuneta. La cual debe resistir a las cargas no solo del agua que transporta, también debe soportar una carga vehicular al ser un área de soporte adicional para emergencias o paso esporádico. Para determinar la cuantía de acero de refuerzo se tomó como guía la Cartilla de cunetas de concreto de ARGOS, donde ejemplifica y describe el proceso de diseño de refuerzos para las Berma-cunetas. Teniendo en cuenta lo anteriormente nombrado se estableció el refuerzo para la estructura drenante mostrado en la Ilustración 48.

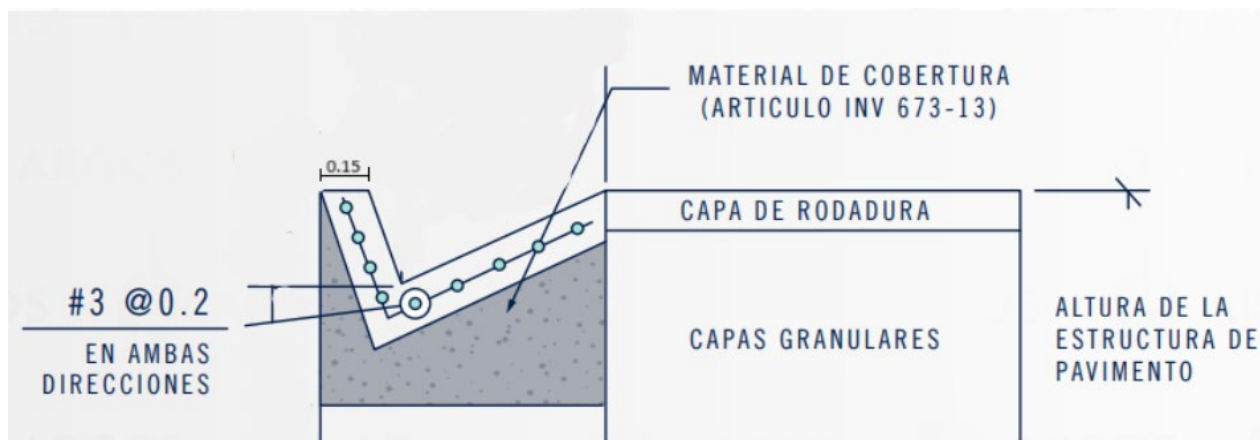


Ilustración 48. Acero de refuerzo Berma-cuneta

9.4. Diseño del pavimento

Planteamiento del problema

Se va a construir un tramo de 2.854 km de la vía terciaria que comunica el municipio de Toribio con la vereda el Tablazo, este tramo vial está comprendido entre el kilómetro K8+750 y K11+604, en pavimento asfáltico. La vía se va a pavimentar para un periodo $n = 20$ años, con tiempo de aprobación y construcción del proyecto de $i = 3$ años. La vía cuenta con un carril de 3.5 m por cada sentido.

9.4.1. Resumen de los estudios de campo

9.4.1.1. Transito

Dentro del estudio de tránsito se realiza una evaluación sistemática de las condiciones de movimiento de vehículos recopilando datos sobre volúmenes de tráfico y composición vehicular en una vía aledaña de Toribio, siendo esta la vía Estrecho – El bordo, dado que la vía Palo Quemao no tiene información del flujo vehicular y tipos de vehículos que circulan en ella. Este análisis busca comprender y mejorar la eficiencia del flujo de tráfico, la seguridad vial, planificación urbana y vida útil del pavimento.

9.4.1.2. Volumen de transito

Según el estudio de tránsito el TPDS es 772 vh/día y la tasa de crecimiento de la zona (r) es 2.75%, la confiabilidad seleccionada para todo el proyecto es 80%. La pavimentación provocará un Tránsito Generado de 7% del TPD en los primeros 3 años. De acuerdo con la red vial cercana no hay posibilidad de atracción de tránsito hacia la vía. El estudio de volumen de tránsito y composición vehicular sobre las vías

se realizó en el mes de enero. La estación maestra más cercana registra un TPDA de 772 Vh/día y los tránsitos mensuales mostrados en la Tabla 32.

Tabla 32: TPDS mensual de la estación maestra

ENE	1611
FEB	1717
MAR	1437
ABR	1648
MAY	1536
JUN	1426
JUL	1755
AGO	1925
SEP	1796
OCT	2297
NOV	2301
DIC	1810
TPD	1941

9.4.1.3. Composición vehicular

La composición vehicular de esta vía terciaria se extrajo directamente del INVIAS. Esta composición se divide principalmente en autos, buses de 2 eje y camiones como se presenta en la Tabla 33.

Tabla 33: Composición vehicular

C2	20,0%	5,0%
C3	26,0%	6,5%
3S2	25,0%	6,25%
3S3	29,0%	7,25%

Tipo de vehículo	%
(A) Autos	60,0%
(B2) Bus (2 ejes)	15,0%
(B3) Bus (3 ejes)	0,0%
(C) Camiones	25,0%

9.4.1.4. Histograma de Carga

A continuación, en la Tabla 34, 35 y 36 se muestran los histogramas de Carga para ejes sencillos, Tándem y Trídem, los cuales son los utilizados para el diseño de pavimentos en Colombia.

Tabla 34: Histograma de carga para ejes sencillos.

Eje Sencillo (Tn)	Eje Sencillo (kN)	Eje Sencillo (Kips)	Histograma de carga - Eje Sencillo					
			0-500	500-1000	1000-2500	2500-5000	5000-10000	Mas de 10000
2	19,6	4,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,2
3	29,4	6,61	19,6	19,4	18,6	18,2	18,5	19,1
4	39,2	8,81	21,5	21,3	21,1	20,9	21,1	21,4
5	49	11,01	12,0	12,1	14,3	15,2	14,6	13,1
6	58,8	13,21	6,3	6,3	7,3	7,8	7,5	6,7
7	68,6	15,42	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,9
8	78,4	17,62	3,7	4,4	3,5	3,5	3,5	3,6
9	88,2	19,82	4,5	4,4	4,2	4,1	4,2	4,4
10	98	22,02	4,4	4,4	4,2	4,1	4,2	4,4
11	107,8	24,22	6,2	6,1	5,8	5,7	5,8	6,0
12	117,6	26,43	6,4	6,4	6,1	6,0	6,1	6,3
13	127,4	28,63	5,5	5,4	5,2	5,1	5,2	5,3
14	137,2	30,83	2,7	2,6	2,6	2,5	2,5	2,6
15	147	33,03	1,0	1,2	1,1	1,0	0,9	1,0
Total			100	100	100	100	100	100

Tabla 35: Histograma de carga para ejes Tándem.

Eje Tandem (Tn)	Eje Tandem (kN)	Eje Tandem (Kips)	Histograma de carga - Eje Tándem					
			0-500	500-1000	1000-2500	2500-5000	5000-10000	Mas de 10000
6	58,8	13,21	1,8	1,7	1,8	1,8	1,9	1,7
8	78,4	17,62	7	6,7	7,5	7,4	7,3	7,3
10	98	22,02	5,3	5	4,8	5	5	5,1
12	117,6	26,43	5,3	5	5,3	5,7	5,3	5,6
14	137,2	30,83	6,1	5,8	5,7	5,7	5,7	6,2
16	156,8	35,24	6,1	5,8	5,7	6	5,7	6,2
18	176,4	39,64	7,9	7,5	7,9	8,2	8	8,5
20	196	44,04	12,3	12,5	13,2	13,5	13	13,6
22	215,6	48,45	23,7	24,2	24,1	23,8	22,9	23,7
24	235,2	52,85	17,5	17,5	16,2	15,6	14,9	15,8
26	254,8	57,26	5,3	5,8	5,3	5	8	4,5
28	274,4	61,66	0,9	1,7	1,8	1,8	1,5	1,1
30	294	66,07	0,8	0,8	0,7	0,5	0,8	0,7
Total			100	100	100	100	100	100

Tabla 36: Histograma de carga para ejes Trídem.

Eje Tridem (Tn)	Eje Tridem (kN)	Eje Tridem (Kips)	Histograma de carga - Eje Tridem					
			0-500	500-1000	1000-2500	2500-5000	5000-10000	Mas de 10000
6	58,8	13,21	0	3,4	1,5	2,7	1,6	2,7
8	78,4	17,62	4,5	3,4	3,1	4,1	3,2	2,7
10	98	22,02	0	3,4	1,5	1,4	1,6	2,7
12	117,6	26,43	0	0	1,5	1,4	1,6	2,7
14	141,12	30,83	0	0	1,5	1,4	1,6	2,7
16	156,8	35,24	4,5	3,4	3,1	2,7	3,2	2,7
18	176,4	39,64	4,5	3,4	3,1	2,7	3,2	2,7
20	196	44,04	4,5	3,4	4,6	4,1	4,8	5,4
22	215,6	48,45	4,5	6,9	7,7	6,8	6,5	8,1
24	235,2	52,85	18,2	17,2	16,9	17,6	17,7	16,2
26	254,8	57,26	22,7	24,1	23,1	23	22,6	21,6
28	274,4	61,66	13,6	13,8	13,8	13,5	12,9	13,5
30	294	66,07	9,1	6,9	7,7	8,1	8,1	8,1
32	313,6	70,47	4,5	3,4	4,6	4,1	4,8	2,7
34	333,2	74,88	4,5	3,4	3,1	4,1	3,2	2,7
36	352,8	79,28	4,9	3,9	3,2	2,3	3,4	2,8
		Total	100	100	100	100	100	100

9.4.2. Clima

La información del clima correspondiente a las temperaturas mínimas, medias y máximas al igual que la precipitación máxima y los días de lluvia en el municipio de Toribio Cauca se obtuvieron a través de la página especializada en climatología del departamento del

Cauca denominada Cuandovisitar.co, esta permite conocer de manera detallada todos los aspectos climáticos de cualquier zona del departamento del Cauca en cualquier época del año. Los datos recopilados se muestran en la Tabla 37.

Tabla 37: Condiciones Climatológicas de Toribio – Cauca

Lugar	Toribio	Cauca											
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Nº días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Temperatura °C													Annual
T. Mínima °C	23,18	24,65	25,59	25,32	24,16	23,56	23,01	23,63	23,00	23,26	23,01	22,00	22,00
T. Promedio °C (TMM)	24,05	24,87	23,18	24,08	22,38	26,94	25,97	24,23	26,75	24,21	24,54	23,61	24,57
T. Máxima (7 días) °C	35,98	36,22	35,2	33,39	32,15	30,87	33,51	34,02	31,13	32,5	33,66	31,43	36,22
Precipitación, Brillo Solar y Humedad relativa													
Precipitación (mm)	11	14	60	124	143	70	70	79	97	134	86	34	922,00
Días lluvia al mes	6,60	7,30	16,00	25,00	27,80	18,00	20,30	20,00	24,90	27,12	23,00	13,20	229,22

9.4.3. Suelos.

Los datos recolectados de la subrasante se obtuvieron a partir de un estudio de suelos realizados previamente en el terreno donde se localiza el proyecto. Por otra parte, la información del material de base y subbase se consultó directamente con PETRAE SAS, la cual es una empresa de generación de materiales pétreos, especializada en la generación de materia prima para la construcción de proyectos viales. Cabe resaltar que en esta cantera se realizará el presupuesto pertinente de estos materiales, debido a que se encuentra a una distancia de 26.3 km del proyecto. La información de cada material se observa de la Tabla 38 a la 43.

Tabla 38: Granulometría de la subrasante

No Tamiz	Mm	%Pasa	Log
1"	25,000	100	1,3979
3/4"	19,000	100	1,2788
1/2"	12,500	100	1,0969
3/8"	9,500	100	0,9777
1/4"	6,300	100	0,7993
No 004	4,750	100	0,6767
No 008	2,360	98	0,3729
No 050	0,300	92	-0,5229
No 100	0,150	87	-0,8239
No 200	0,075	61,6	-1,1249
Hidrometría 5 µm	0,005	9	-2,3010
Hidrometría 1 µm	0,001	6	-3,0000

Tabla 39: Características propias de la subrasante

No Tamiz	Mm	%Pasa	Log
3"	75,000	100	1,8751
2"	50,000	100	1,6990
1 1/2"	37,500	100	1,5740
1"	25,000	90	1,3979
1/2"	12,500	72	1,0969
3/8"	9,500	59	0,9777
No 004	4,750	45	0,6767
No 010	2,000	32	0,3010
No 040	0,425	17	-0,3716
No 200	0,075	9	-1,1249
Hidrometría 5 µm	0,005	2	-2,3010
Hidrometría 1 µm	0,001	1	-3,0000

Tabla 40: Granulometría material de subbase

LL (%)	54
LP (%)	40
IP (%)	14
wIP	8,624
Control (IP)	Ok
γ_w (g/cm ³)	1,000
γ_d max (g/cm ³)	1,593
Wopt (%)	17,300
Gs	2,727

Tabla 41: Características propias del material de subbase.

LL (%)	20
LP (%)	18
IP (%)	2
wIP	0,18
Control (IP)	Ok
γ_w (g/cm ³)	1,000
γ_d max (g/cm ³)	1,958
Wopt (%)	11,400
Gs	2,675

Tabla 42. Granulometría material de base

No Tamiz	Mm	%Pasa	Log
3"	75.000	100	1.8751
2"	50.000	100	1.6990
1 1/2"	37.500	100	1.5740
1"	25.000	86	1.3979
3/4"	19.000	69	1.2788
3/8"	9.500	49	0.9777
No 004	4.750	34	0.6767
No 010	2.000	22	0.3010
No 040	0.425	13	-0.3716
No 200	0.075	5	-1.1249
Hidrometría 5 μ m	0.005	1	-2.3010
Hidrometría 1 μ m	0.001	0	-3.0000

Tabla 43: Características propias del material de base.

LL (%)	20
LP (%)	18
IP (%)	2
wIP	0,1
Control (IP)	Ok
γ_w (g/cm ³)	1,000
γ_d max (g/cm ³)	2.096
Wopt (%)	8.500
Gs	2,671

9.4.4. Cálculo de las variables de diseño

9.4.4.1. Espectro de carga para el diseño

Tabla 44. Espectro de carga para el diseño de volumen de tránsito

Datos de Entrada	Vía Palo Quemao
TPDSo	772
TPDA Estación maestra	772
TPDM Estación maestra	1611
Factor Estacional [Fe]	0.48
Años hasta puesta en operación [i]	3
Vida útil del proyecto [n]	20
Tasa de crecimiento [r] (%)	2.50%
Confiabilidad (%)	80.00%
Zr	0.842
Porcentaje tránsito generado (%)	7.00%
Años de tránsito generado	2
Porcentaje de tránsito atraído (%)	5.00%
Años de tránsito atraído	2
Ancho Carril (m)	3.50
Ancho Berma (m)	0.00
Número de carriles totales	2
Número de carriles por sentido	1
Ancho Calzada por sentido	7.00

9.4.4.2. Proyección del tránsito

Al seguir el procedimiento propuesto para proyectar el tránsito en el periodo de diseño planteado se obtienen los datos descritos en la Tabla 45.

Tabla 45. Proyección del tránsito de la vía Palo Quemao

		Vía Palo Quemao
1	Tránsito Existente [TPDSi]	831
2	Tránsito Normal	7748078
	Tránsito Normal * Fe	3719077
3	Tránsito Generado	42464
	Tránsito Generado * Fe	20383
4	Tránsito Atraído	0
	Tránsito Atraído * Fe	0
5	Tránsito Total	3739460
6	Factor Direccional [Fd]	0.5
7	Factor Carril [Fc]	1
8	Volumen Carril [Vc]	1869730
9	Volumen Diseño [Vd]	2060055
10	TPDA (IMT-PAVE)	442

9.4.4.3. Composición vehicular

Se distribuye el Volumen de diseño (VD) de acuerdo con la composición vehicular encontrada en el estudio de tránsito, igualmente se presenta la distribución de eje de acuerdo con el tipo de vehículo como se muestra en la Tabla 46.

Tabla 46: Composición vehicular vía Palo Quemao

Con confiabilidad		VD		Número de ejes				
Tipo de vehículo	%	2060055		Sencillo	Dual	Tandem	Tridem	
(A) Autos	60.0%	1236033						
(B2) Bus (2 ejes)	15.0%	309008		1	1		2	
(B3) Bus (3 ejes)	0.0%	0		1		1	2	
(C) Camiones	25.0%	515014						
C2	20.0%	5.0%	103003	1	1		2	
C3	26.0%	6.5%	133904	1		1	2	
3S2	25.0%	6.25%	128754	1		2	3	
3S3	29.0%	7.25%	149354	1		1	1	3

De la información anterior se desprenden las repeticiones esperadas por cada tipo de eje, de tal forma que se pueda elaborar el espectro de carga. (Ver Tabla 47).

Tabla 47. Número de repeticiones por cada tipo de eje

Número de repeticiones				
Sencillo	Dual	Tandem	Tridem	Total
824023	412011	540766	149354	
41201	20601	27038	7468	Ejes/año

9.4.5. Espectro de carga

El espectro de carga está conformado por el número de repeticiones esperadas para cada tipo de eje en cada rango de cargas. En la Tabla 48-49 se muestra la conformación respectiva.

Tabla 48. Espectro de carga eje simple

Eje Tandem (Tn)	540766						
Carga (T)	Carga (kN)	Carga(Kips)	Wx	β_x	FEC= Wx/W18	Daño Equivalente = 1/FEC	W18 =Wx/FE C
							2147906
6	58.8	13.2	9193	0.4201502	46.53383397	0.02148974	198
8	78.4	17.6	36231	0.4458048	14.19643099	0.07044024	2552
10	98	22	27038	0.4881062	5.611042587	0.178219998	4819
12	117.6	26.4	27038	0.5517547	2.633974303	0.379654425	10265
14	137.2	30.8	31364	0.6416554	1.393737826	0.717495056	22504
16	156.8	35.2	31364	0.7628922	0.80332383	1.244828004	39043
18	176.4	39.6	40557	0.9207094	0.492950435	2.028601516	82274
20	196	44	67596	1.1204963	0.317183827	3.152745868	213113
22	215.6	48.4	130865	1.3677754	0.211848761	4.720348596	617728
24	235.2	52.8	94634	1.6681924	0.145875739	6.85514952	648730
26	254.8	57.2	31364	2.0275077	0.103063533	9.702753008	304317
28	274.4	61.6	9193	2.4515892	0.074450226	13.43179272	123478
30	294	66	4326	2.9464064	0.054839197	18.23513206	78885

Tabla 49. Espectro de carga eje tandem

Eje Simple (Tn)	Sencillo	Dual						
	824023	412011						
Carga (T)	Carga (kN)	Carga (Kips)	W _x	B _x	FEC= W _x /W18	Daño Equivalente = 1/FEC	W18 =W _x /FE C	
							1984679	
2	19.6	4.4	27193	0.4066816	320.382212	0.003121272	85	
3	29.4	6.6	239791	0.4201502	63.56709051	0.015731411	3772	
4	39.2	8.8	263275	0.4458048	19.39289624	0.051565274	13576	
5	49	11	149560	0.4881062	7.664910056	0.130464675	19512	
6	58.8	13.2	77870	0.5517547	3.598114933	0.277923307	21642	
7	68.6	15.4	46969	0.6416554	1.903901978	0.525237124	24670	
8	78.4	17.6	54385	0.7628922	1.097372691	0.911267437	49559	
9	88.2	19.8	54385	0.9207094	0.673390139	1.485023232	80763	
10	98	22	54385	1.1204963	0.433285877	2.307945064	125518	
11	107.8	24.2	75398	1.3677754	0.289393935	3.455497429	260538	
12	117.6	26.4	79106	1.6681924	0.199272132	5.018263178	396975	
13	127.4	28.6	66746	2.0275077	0.140788934	7.102830945	474086	
14	137.2	30.8	32137	2.4515892	0.101702005	9.832647797	315992	
15	147	33	14832	2.9464064	0.074912551	13.34889801	197991	

Tabla 50. Espectro de carga eje tridem

Eje Tridem (Tn)	149354							
	Carga (T)	Carga (kN)	Carga (Kips)	W _x	β _x	FEC= W _x /W18	Daño Equivalente = 1/FEC	W18 =W _x /FEC
								373801
6	58.8	13.2	0	0.4066816	195.41767	0.005117245	0	

8	78.4	17.6	6721	0.4145191	62.55979693	0.015984707	107
10	98	22	0	0.4271328	25.16307666	0.039740768	0
12	117.6	26.4	0	0.4458048	11.82872974	0.084539931	0
14	141.12	30.8	0	0.4718704	6.229268581	0.160532491	0
16	156.8	35.2	6721	0.5067121	3.575661512	0.27966853	1880
18	176.4	39.6	6721	0.5517547	2.194676266	0.455648068	3062
20	196	44	6721	0.6084612	1.420180606	0.704135795	4732
22	215.6	48.4	6721	0.6783300	0.95856972	1.043220935	7011
24	235.2	52.8	27182	0.7628922	0.669344322	1.493999376	40610
26	254.8	57.2	33903	0.8637093	0.480505311	2.081142449	70557
28	274.4	61.6	20312	0.9823716	0.352936513	2.833370771	57551
30	294	66	13591	1.1204963	0.26428345	3.783816195	51426
32	314	70.4	6721	1.2797260	0.201195318	4.970294598	33405
34	333	74.8	6721	1.4617280	0.155387516	6.435523432	43253
36	353	79.2	7318	1.6681924	0.121546372	8.227312591	60207

9.4.6. Entorno de resistencia y Factor ambiental

Las características climatológicas de la región se conjugan con las características de los suelos y los materiales granulares para definir la resistencia del material utilizando el factor ambiental, en esta oportunidad ese cálculo se realizará con el software FAC-PAV.

9.4.7. Índice de Thornthwaite (IMT) y Factor ambiental (Famb) para la subrasante

Para calcular el entorno de resistencia de la subrasante se tiene en cuenta que el M_r proviene del ensayo triaxial, en el cual la muestra de ensayo se elabora bajo condiciones de humedad óptima. $M_{r\ opt} = 105\text{ MPa}$ (15226 psi), por lo tanto, es necesario calcular el entorno de resistencia utilizando el factor ambiental.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de clima de Toribio, Cauca se pueden observar en la Tabla 51.

**Tabla
TMM**

Mes	Indice Humedad	Indice Aridez	TMI	Símbolo	Tipo Climático
Dic					
Ene	0.00	89.30	-53.5771	E	Árido
Feb	0.00	86.48	-51.8903	E	Árido
Mar	0.00	35.12	-21.0738	D	Semiárido
Abr	0.00	0.00	0.0000	C1	Subhúmedo-Seco
May	0.00	0.00	0.0000	C1	Subhúmedo-Seco
Jun	0.00	0.00	0.0000	C1	Subhúmedo-Seco
Jul	0.00	43.90	-26.3384	D	Semiárido
Ago	0.00	26.70	-16.0227	C1	Subhúmedo-Seco
Sep	0.00	31.08	-18.6491	C1	Subhúmedo-Seco
Oct	0.00	0.00	0.0000	C1	Subhúmedo-Seco
Nov	0.00	0.00	0.0000	C1	Subhúmedo-Seco
Dic	0.00	57.10	-34.2577	D	Semiárido
Anual	0.00	30.28	-18.1700	C1	Subhúmedo-Seco

precipitación mensual y anual Toribio, Cauca

9.4.8. Factor ambiental (Famb) para la subrasante

La subrasante clasifica como un suelo grueso sandy silt (SM). Los cálculos del Famb para el año y para cada uno de los meses se muestra en la Tabla 52.

Tabla 52. Factor ambiental subrasante

Mes	S-Sopt	Famb	Mr (MPa)	Mr (PSI)
Año	0.14518	0.60619	64	9230
Ene	-0.10748	1.39044	146	21171
Feb	-0.08989	1.32459	139	20168
Mar	0.13254	0.63224	66	9627
Abr	0.20300	0.50577	53	7701
May	0.20300	0.50577	53	7701
Jun	0.20300	0.50577	53	7701
Jul	0.10657	0.69073	73	10517

Mes	T. Promedio °C (TMM)	Índice de calor mensual (i)	ETP sin corregir (mm)	N	d	ETP corregida (mm)	Precipitación (mm)
Dic							
Ene	24.05	10.7837	100.0843	11.9230	31	102.7569	11.00
Feb	24.87	11.3452	111.1447	11.9820	28	103.5795	14.00
Mar	23.18	10.1986	89.1946	12.0410	31	92.4826	60.00
Abr	24.08	10.8041	100.4752	12.1590	30	101.8065	124.00
May	22.38	9.6705	79.9190	12.2180	31	84.0833	143.00
Jun	26.94	12.8051	142.7064	12.2770	30	146.0005	70.00
Jul	25.97	12.1135	127.2487	12.2180	31	133.8790	70.00
Ago	24.23	10.9061	102.4449	12.2180	31	107.7829	79.00
Sep	26.75	12.6686	139.5833	12.1000	30	140.7465	97.00
Oct	24.21	10.8925	102.1808	12.0410	31	105.9476	134.00
Nov	24.54	11.1181	106.5987	11.9820	30	106.4388	86.00
Dic	23.61	10.4864	94.4703	11.9230	31	96.9929	34.00
Anual		133.7923				1322.49677	922.00

Índice calor anual (I)	133.79229
	5
A	3.12641

Ago	0.15382	0.58925	62	8972
Sep	0.14317	0.61023	64	9291
Oct	0.20300	0.50577	53	7701
Nov	0.20300	0.50577	53	7701
Dic	0.05905	0.81531	86	12414

9.4.9. Diseño de pavimento flexible por la metodología IMT-PAVE 3.0

Para el diseño del pavimento flexible por esta metodología se utiliza el software IMT-PAVE 3.0 desarrollado por Instituto Mexicano del Transporte. El software requiere las siguientes variables:

- Tránsito: Se debe calcular el TPDA (aparente), los demás datos corresponden a los típicos de tránsito
- Espectro de carga: utilizar “Alta Sobrecarga”.
- Módulos resilientes y módulos de elasticidad: utilizar las calculadoras incluidas en las Herramientas del software sustentando adecuadamente.

En la Ilustración 49-50 se describe el resumen de tránsito y el espectro de carga aplicado en el software con los datos obtenidos en la memoria de cálculo.

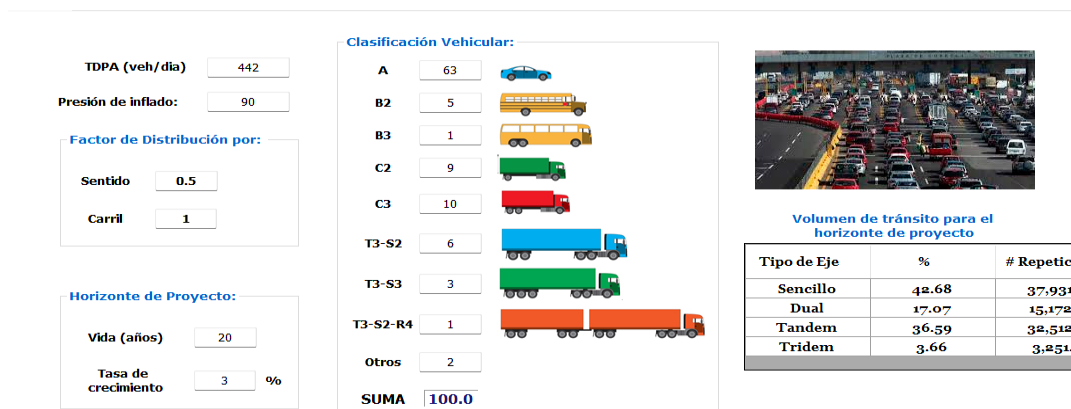


Ilustración 49: Resumen de tránsito

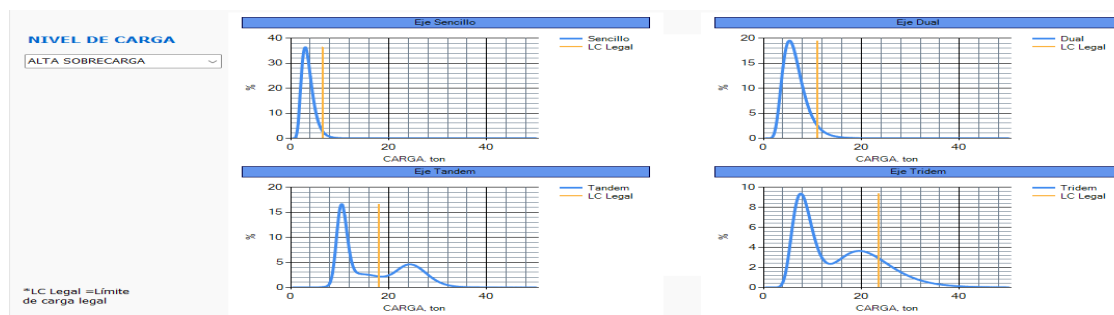


Ilustración 50: Espectro de carga

Ahora bien, en la Tabla 53 se muestran las características y módulos de elasticidad de las mezclas asfálticas densas calientes de gradación continua MDC-19 (Tamaño máximo de 19 mm) y MDC-25 (Tamaño máximo de 25 mm) tipo INVIAS para construir capas de rodadura en vías con tráfico medio y alto teniendo en cuenta que la temperatura media (TMM) es 24.68 °C.

Tabla 53. Datos generales MDC-19 y MDC-25.

Datos de Entrada		MDC-25	MDC-19	MDC-10
Porcentaje en volumen de vacíos	Va (%)	5.1	5.1	
Porcentaje en volumen de asfalto	Vb (%)	4.90	5.40	
Frecuencia de aplicación de la carga	f (Hertz)	10.78	10.78	
Porcentaje pasa tamiz 200	P200 (%)	5.1	5.8	
Penetración a una temperatura de 77°C (25°C)	P77 °F	70	65	
Temperatura Media Annual (MAAT)	T (°C)	24.68	24.68	24.68
Radiación Típica (kW*h/m2) (DNI) (Solaro)		1614.8	1614.8	1614.8
Temperatura de la mezcla (WisDOT)	T (°C)	32.36	32.36	32.36
Temperatura de la mezcla	T (°F)	90.25	90.25	90.25
Cálculos				

Viscosidad del asfalto	λ (Poisses)	2.64	3.11
<i>1.0 in. = 2.54 cm,</i>			
<i>1 psi = 0.00689 Mpa,</i>	b1	0.81	0.82
<i>1 Mpa = 10⁶ N/m²</i>	b2	5435.47	5706.06
<i>1 t = 9.81 kN</i>	b3	1.53	1.58
<i>1 t = 2.2 Kips</i>	b4	2.37	2.61
<i>1 kip = 1000 lbs = 4.45 N</i>	b5	1.81	1.81
<i>1 MPa/m=3.6824877 Lb/pulg³</i>			
		643781.1	
	E (Lb/pulg²)	1	659145.63
E = módulo dinámico de la mezcla asfáltica	E (MPa)	4435.65	4541.51
	E (Kg/cm²)	45064.72	46140.24

9.4.10. Análisis de la estructura de pavimento

De acuerdo con los datos del SBG provenientes del laboratorio Mr, sumergido es 216 MPa, Mr, sumergido es 232 MPa de la BG y Mr, sumergido es 78 MPa de la subrasante.

Con los modelos de falla del análisis espectral se verifican que una vez cubierto el periodo de diseño, para este caso 20 años, las fallas sean de la siguiente forma:

- Falla por fatiga en la carpeta asfáltica no supere más del 10% del área agrietada.
- Falla por deformación en la subrasante no supere los 10 mm.

De acuerdo con esto, se corre el análisis espectral y posteriormente el análisis probabilista con confiabilidad del 80%. El siguiente diseño puede ser una de las opciones a construir:

- Capa asfáltica MDC-25: 0.10 m, módulo = 4436 Mpa
- BG: 0.30 m, módulo = 232 Mpa

- SBG: 0.30 m, módulo = 216 Mpa

En la Ilustración 46, se encuentra el informe del análisis de la estructura de pavimento flexible asfáltico generado por en el software IMT-PAVE.

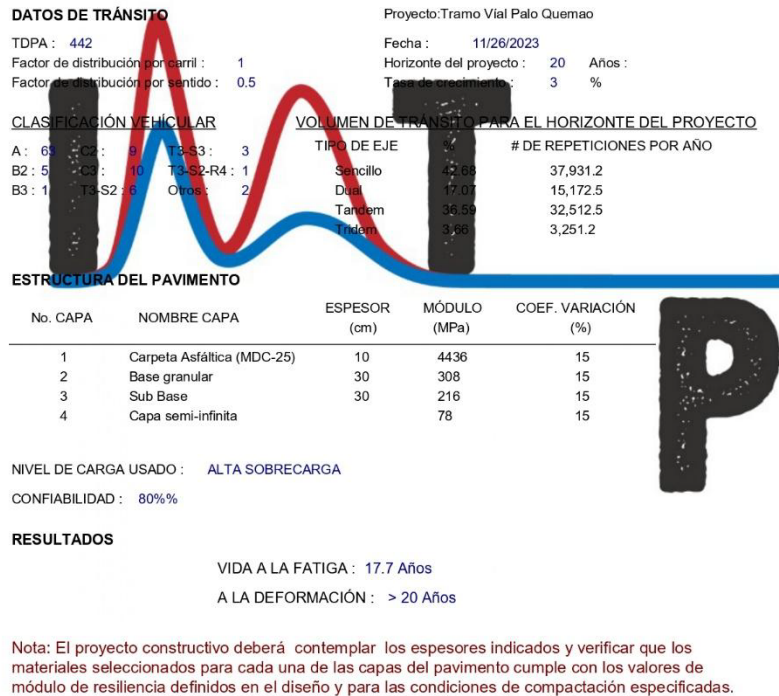


Ilustración 46. Análisis de la estructura de pavimento flexible asfáltico generado por IMT-PAVE

9.4.11. Diseño de pavimento flexible por la metodología AASHTO 93

9.4.11.1. Confiabilidad, desviación estándar, serviciabilidad final

De acuerdo con los datos de campo se tiene los siguientes resultados:

- Confiabilidad: 80%, $Z_r = -0.842$
- Desviación estándar: $S_o = 0.45$ por ser el replanteo de un proyecto

- Serviciabilidad final: Pt = 2.00

9.4.11.2. Drenaje

El drenaje depende de las características de la subrasante y de la subbase o base granular, en este caso la subrasante es SM con permeabilizar $1.14E-09$ m/s por lo cual la calidad del drenaje de la subrasante es “MALA”. (Ver Tabla 54).

- El proyecto se construye con drenes, NF>0.5 m.
- La subrasante califica con capacidad de drenaje MALA.
- La SBG es GW-GM con permeabilidad $2.51E-04$ m/s.
- La subrasante califica con capacidad de drenaje MALA.
- La precipitación anual es 922 mm.

Tabla 54. Resumen drenaje SBG

Precipitación (mm)	922
Calidad drenaje subrasante	Malo
Nivel freático	>0.5 m
Precipitación Media Anual (mm)	Tiempo bajo saturación
20 – 200	
200 - 400	
400 - 600	
600 - 1000	7.61
1000 - 1500	
> 1500	
Tiempo (%)	7.61
Calidad Conjunto	Regular
mi (SBG)	0.974
Precipitación (mm)	922

Calidad drenaje subrasante

Malo

El drenaje depende de las características de la SBG y la BG, en este caso la SBG es GW-GM con permeabilizar $2.51E-04$ m/s por lo cual la calidad del drenaje de la SBG es “REGULAR”.

La permeabilidad del conjunto SBG - BG depende de la capa de SBG, de la permeabilidad o del P200 de la BG y de las condiciones de drenaje. (Ver Tabla 53).

- El proyecto se construye con drenes, $NF > 0.5$ m.
- La SBG califica con capacidad de drenaje REGULAR.
- La BG es GP-GM con permeabilidad $2.51E-04$ m/s.
- La calidad del conjunto SBG - BG es REGULAR
- La precipitación anual es 922 mm.

Tabla 55: Condiciones de drenaje

Precipitación (mm)	922
Calidad drenaje subrasante	Regular
Nivel freático	>0.5 m
Precipitación Media Anual (mm)	Tiempo bajo saturación
20 – 200	
200 - 400	
400 - 600	
600 - 1000	5.61
1000 - 1500	
> 1500	
Tiempo (%)	5.61
Calidad Conjunto	Regular
mi (BG)	0.994

9.4.11.3. Módulo resiliente de la subrasante

En la metodología AASHTO 93 es necesario calcular el módulo de reacción considerando el factor ambiental.

Mr es el módulo resiliente para cada mes incluyendo el efecto del factor ambiental en caso de que el dato que se tenga sea Mr,opt. Si se tiene CBR sumergido el Famb no debe considerarse.

En la Tabla 56, se describen los valores obtenidos del módulo resiliente para la subrasante y subbase granular.

Tabla 56. Mr subrasante y SBG


Mes	TMI	Materiales granulares			
		Subrasante	SM	SBG	GP-GM
		Mr (psi)	15226.00	Esb (psi)	41446.00
		F amb	Esr = Mr (psi)	F amb	Esb (psi)
Enero	-53.5771	1.3904	21171	1.9097	79149
Febrero	-51.8903	1.3246	20168	1.9065	79015
Marzo	-21.0738	0.6322	9627	1.8139	75177
Abril	0.0000	0.5058	7701	1.7221	71375
Mayo	0.0000	0.5058	7701	1.7221	71375
Junio	0.0000	0.5058	7701	1.7221	71375
Julio	-26.3384	0.6907	10517	1.8344	76030
Agosto	-16.0227	0.5893	8972	1.7927	74300
Septiembre	-18.6491	0.6102	9291	1.8038	74762
Octubre	0.0000	0.5058	7701	1.7221	71375
Noviembre	0.0000	0.5058	7701	1.7221	71375
Diciembre	-34.2577	0.8153	12414	1.8618	77164

En la Tabla 56, se describe el resumen general del diseño AASHTO 93 para pavimento flexible.

Tabla 56. Resumen diseño de pavimento AASHTO 93

Po	4.20								
Pt	2.00		SN (min)	3.619471927		0.000000	= A - B - C - G/R - F		
Ejes equivalentes a 80 kN (W18)				4,506,386		6.653828	= A = log (W18)		
Confiabilidad (%)				80					
Zr				-0.842		-0.378900	= B = Zr * So		
Tipo de pavimento (Nuevo / Rehabilitación)				Nuevo					
Desviación estandar Global (0.45 - 0.49) (So)				0.45		6.020584	= C = 9.36 * log (SN + 1) - 0.2		
Índice de Servicio Inicial (Po)				4.20		-0.088941	= G = log ((4.2 - Pt) / (4.2 - 1.5))		
Índice de Servicio Terminal (Pt)				2.00		0.788851	= R = 0.40 + 1094 / (SN + 1) ^{5.19}		
ΔPSI = Po - Pt				2.20		1.124892	= F = 2.32 * log (Mr) - 8.07		
Mr Subrasante AASHTO (psi)				9190.0					
Materiales			TPDSi = 1795 Vh/día	NT2					
Estabilidad Mínima de la mezcla asfáltica (N)			M (N)	7500					
BE Cemento [f'c entre 3.5 - 7.0 Mpa] (7 días)			f'c (MPa)	5.0					
BE Asfalto [Estabilidad max 4450 N]			Estabilidad (N)	4000					
BG (INVIAS) CBR sumergido mínimo			CBR % (min 80)	80					
SBG (INVIAS) CBR sumergido mínimo			CBR % (min 30)	63					

1.0 in. = 2.54 cm.	
1 psi = 0.00689 Mpa.	
1 Mpa = 10 ⁶ N/m ²	
1 t = 9.81 kN	
1 t = 2.2 Kips	
1 kip = 1000 lbs = 4.45 N	
1 MPa/m = 3.6824877 Lb/pulg ³	



	E* (Kg./cm2)	E* (MPa)	E* (psi)	a	m	Espesor h (cm)	Espesor D (pulg)	SN = a * m * D (pulg)
MDC - 19 (70-80)	46140.0	4542.0	659146.0	0.380		0.0	0.0000	0.00000
MDC - 25 (70-80)	45065.0	4436.0	643781.0	0.377		8.0	3.1496	1.18740
la BEC Cemento f'c (MPa) = 5		1019.4		0.208			0.0000	0.00000
estructur BEA Asfalto Estabilidad (N) = 4000		1345.3		0.213			0.0000	0.00000
a BG (INVIAS) CBR % (min 80) = 80				0.130	0.994	20.0	7.8740	1.02362
SBG (INVIAS) CBR % (min 30) = 63				0.127	0.974	29.0	11.3874	1.40845
Espesor Total						57.00	22.41	3.61947
				26	Sobrediseño (SN fórmula - SN estructura)			0.0

De acuerdo con la metodología de la AASHTO 93 el diseño seleccionado es:

- Capa asfáltica MDC-25: 0.08 m, módulo = 4436 Mpa
- BG: 0.20 m, módulo = 232 Mpa
- SBG: 0.30 m, módulo = 216 Mpa

Dado a la a los resultados obtenidos para el tiempo de vida útil por fatiga y porcentaje de deformación en el tiempo, se procede a elegir el diseño del pavimento flexible asfáltico del IMT-PAVE, dado a que este con un coeficiente de confiabilidad del 80% asegura una vida útil mayor a 20 años.

9.5. Estudio Predial.

El informe predial del proyecto de mejoramiento de la red vial terciaria "Puente Quemao" del municipio de Toribio, Cauca, en esta etapa de factibilidad, tiene por objeto ajustar la ficha predial que había

sido previamente elaborada en la etapa de prefactibilidad. Esto se hace con el fin de que su resultado sea más racional, gracias al nuevo diseño geométrico de la vía proyectada, el cual fue elaborado con la topografía realizada en campo. Este proceso se apoyó en diferentes equipos de medición vía GPS, fotogrametría y la geolocalización del terreno disponible en Civil 3D.

Esta metodología de ajuste de la ficha predial permite garantizar la información específica de los bienes inmuebles, las actividades económicas, la descripción de las construcciones, cultivos, especies y la medición de los linderos del tramo. Los datos obtenidos permitirán calcular las áreas totales de los predios y el área que será afectada en cada uno de los predios por la construcción del tramo rural comprendido entre Toribio y El Tablazo, entre K6+523.57 y K8+894.38.

La elaboración del estudio predial es de gran importancia para garantizar la factibilidad de este proyecto, ya que es en esta etapa donde se obtendrá la cantidad total de propiedad privada que se debe adquirir para la ejecución de la obra, lo cual es un factor económico que influye en gran parte en el balance general del proyecto. Una vez obtenida la información, se busca entregar el insumo a la Alcaldía Municipal para la elaboración de la obra y así potenciar el desarrollo vial y económico de esta zona del departamento del Cauca.

El no obtener una disponibilidad predial oportuna y un área suficiente que permita trabajar mediante terrenos adquiridos, afecta gravemente los plazos y costos de las obras, haciendo ineficiente su desarrollo, lo que a la postre puede implicar pérdidas representativas a nivel económicos e incluso la paralización de la obra.

La carencia de regulaciones prediales y su deficiente articulación constituyen las razones por las cuales se presentan problemas, retrasos e incumplimiento en el desarrollo de los proyectos de infraestructura vial; situación que además tiene una repercusión negativa en ámbitos sociales y económicos.

9.5.1. Ficha Predial.

En la ficha predial para el mejoramiento vial del tramo comprendido entre Toribio y El Tablazo, entre K6+523.57 y K8+894.38, se analizan y designan el número de predios que se verán afectados por la obra. En este caso, el resultado del análisis predial determina que son 12 predios los que se verán afectados por la elaboración del proyecto.


Se determina la actividad económica de estos predios, que en su mayoría es la agricultura, luego de investigaciones empíricas. El tipo de topografía del suelo es mixto, ya que en esta zona se encuentran tramos con superficies planas y otros con superficies montañosas. Se hace la respectiva medición de los linderos en todos los sentidos (norte, sur, este, oeste) de cada predio con ayuda de la geolocalización del terreno, y en la ficha predial se evidencian estos resultados.

Se analizan los tipos de cultivos y especies de la zona, que en su mayoría son maíz, frijol y papa. También se describen las construcciones que se van a ejecutar, incluyendo la construcción del pavimento en capa asfáltica, muros de contención en voladizo y diferentes obras hidráulicas.

Luego, se analiza la legalidad de los predios, verificando si cumplen con las diferentes licencias, reglamentos y decretos. Al final, se hace el cálculo del área total de cada predio y el área que va a ser afectada por la construcción de la vía. Se debe tener en cuenta que el área afectada del predio va desde el chaflán y no desde el borde de la vía.

A continuación, se presenta la ficha predial en la Tabla 57.

Tabla 57: Ficha Predial.

	<p align="center">MINISTERIO DE TRANSPORTE AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA</p> <p align="center">FICHA PREDIAL</p>	<p>PROYECTO DE CONCESIÓN CONTRATO No.: _____</p>	<p>CONCESIÓN VIAL DISEÑO I 4</p>																																						
		<p>UNIDAD FUNCIONAL Z-4</p>	<p>SECTOR OTROMO PUENTE QUEMAO-TORIBIO</p>																																						
<p>NOMBRE DE LOS PROPIETARIO(S) DE LOS PREDIOS JAVIER ALEXANDER PEREZ CAICEDO</p>		<p>NUMERO DE PREDIOS 12</p>	<p>MARGEN ABSCISADO CONTINUO ? <input type="checkbox"/> Izq-Der <input checked="" type="checkbox"/> NO</p>																																						
<p>ABSC. INICIAL K6 + 523,57 ABSC. FINAL K8 + 894,38</p>		<p>CEDULA 1.000.894.491</p>	<p>DIRECCION / EMAIL javier.perez@javerianacali.edu.co</p>																																						
<p>VEREDA / BARRIO: PUENTE QUEMAO</p>	<p>CLASIFICACION DEL SUELO RURAL</p>	<p>LINDEROS</p>	<p>LONGITUD (m)</p>																																						
<p>MUNICIPIO: TORIBIO</p>	<p>ACTIVIDAD ECONOMICA DE LOS PREDIOS AGRICULTURA</p>	<p>NORTE 395,84</p>	<p>SUR 397,31</p>																																						
<p>DPTO: CAUCA</p>		<p>Mixta</p>	<p>ORIENTE 313,69</p>	<p>OCCIDENTE 300,16</p>																																					
<p>Predios requeridos para: REPLANTEO DE LA VIA ACTUAL</p>	<p>TOPOGRAFIA</p>																																								
<p>INVENTARIO DE CULTIVOS Y ESPECIES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCION</th> <th>CANT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>MAIZ</td><td>INDETER.</td></tr> <tr><td>FRIJOL</td><td>INDETER.</td></tr> <tr><td>PAPA</td><td>INDETER.</td></tr> <tr><td>SABILA</td><td>INDETER.</td></tr> <tr><td>FLORES</td><td>INDETER.</td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		DESCRIPCION	CANT	MAIZ	INDETER.	FRIJOL	INDETER.	PAPA	INDETER.	SABILA	INDETER.	FLORES	INDETER.									<p>ITEM DESCRIPCION DE LAS CONSTRUCCIONES CANTIDAD</p> <table border="1"> <tbody> <tr><td>A</td><td>Capa Asfáltica MCD-25</td><td>2351</td><td>m</td></tr> <tr><td>B</td><td>Obras geotécnicas-Muros de Contención</td><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>C</td><td>Obras hidráulicas-Cuneta</td><td>2351</td><td>m</td></tr> <tr><td>D</td><td>Obras hidráulicas-Boxculverts</td><td>2351</td><td>m</td></tr> </tbody> </table>		A	Capa Asfáltica MCD-25	2351	m	B	Obras geotécnicas-Muros de Contención	3		C	Obras hidráulicas-Cuneta	2351	m	D	Obras hidráulicas-Boxculverts	2351	m		
DESCRIPCION	CANT																																								
MAIZ	INDETER.																																								
FRIJOL	INDETER.																																								
PAPA	INDETER.																																								
SABILA	INDETER.																																								
FLORES	INDETER.																																								
A	Capa Asfáltica MCD-25	2351	m																																						
B	Obras geotécnicas-Muros de Contención	3																																							
C	Obras hidráulicas-Cuneta	2351	m																																						
D	Obras hidráulicas-Boxculverts	2351	m																																						
<p>FECHA DE ELABORACIÓN: 20/11/2023</p>		<p>¿Tiene el inmueble licencia urbanística, Urbanización, parcelación, subdivisión, construcción, Intervención, Espacio Público? <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO</p> <p>¿Tiene el inmueble reglamento de Propiedad Horizontal LEY 675 DE 2001? <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO</p> <p>¿Tiene el inmueble aprobado plan parcial en el momento del levantamiento de la Ficha Predial? <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO</p> <p>¿Aplica Informe de análisis de Área Remanente? <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO</p> <p>De acuerdo al estudio de títulos, la franja que estipula el decreto 2770 debe adquirirse? <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO</p>																																							
<p>Elaboró: JOSE MANUEL OLAYA CABEZAS</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>AREA TOTAL (m2)</th> <th>AREA AFECTADA(m2)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>PREDIO 1</td><td>2569,46</td><td>424,8</td></tr> <tr><td>PREDIO 2</td><td>293,25</td><td>293,25</td></tr> <tr><td>PREDIO 3</td><td>649,74</td><td>649,74</td></tr> <tr><td>PREDIO 4</td><td>498,53</td><td>213,6</td></tr> <tr><td>PREDIO 5</td><td>616,10</td><td>357,32</td></tr> <tr><td>PREDIO 6</td><td>895,71</td><td>801,8</td></tr> <tr><td>PREDIO 7</td><td>213,27</td><td>213,27</td></tr> <tr><td>PREDIO 8</td><td>480,42</td><td>480,42</td></tr> <tr><td>PREDIO 9</td><td>1483,44</td><td>762,6</td></tr> <tr><td>PREDIO 10</td><td>954,19</td><td>954,19</td></tr> <tr><td>PREDIO 11</td><td>827,25</td><td>547,5</td></tr> <tr><td>PREDIO 12</td><td>1231,22</td><td>1065,3</td></tr> </tbody> </table>		AREA TOTAL (m2)	AREA AFECTADA(m2)	PREDIO 1	2569,46	424,8	PREDIO 2	293,25	293,25	PREDIO 3	649,74	649,74	PREDIO 4	498,53	213,6	PREDIO 5	616,10	357,32	PREDIO 6	895,71	801,8	PREDIO 7	213,27	213,27	PREDIO 8	480,42	480,42	PREDIO 9	1483,44	762,6	PREDIO 10	954,19	954,19	PREDIO 11	827,25	547,5	PREDIO 12	1231,22	1065,3	<p>AREA TOTAL DE LOS PREDIOS 10712,56 m²</p> <p>AREA REQUERIDA DE LOS PREDIOS 6763,7819 m²</p> <p>AREA SOBRANTE 3948,55853 m²</p> <p>AREA TOTAL REQUERIDA 6764 m²</p>
	AREA TOTAL (m2)	AREA AFECTADA(m2)																																							
PREDIO 1	2569,46	424,8																																							
PREDIO 2	293,25	293,25																																							
PREDIO 3	649,74	649,74																																							
PREDIO 4	498,53	213,6																																							
PREDIO 5	616,10	357,32																																							
PREDIO 6	895,71	801,8																																							
PREDIO 7	213,27	213,27																																							
PREDIO 8	480,42	480,42																																							
PREDIO 9	1483,44	762,6																																							
PREDIO 10	954,19	954,19																																							
PREDIO 11	827,25	547,5																																							
PREDIO 12	1231,22	1065,3																																							
<p>Revisó y Aprobó: JAVIER ALEXANDER PEREZ CAICEDO</p>																																									

Luego de elaborar la primera parte de la ficha predial, se procede a hacer la segunda parte que es la de los registros fotográficos de los 12 predios, con ayuda del mapa aéreo de geolocalización de CIVIL 3D, estos se observan en la Tabla 58 y 59.

Tabla 58: Registro Fotográfico Predial.







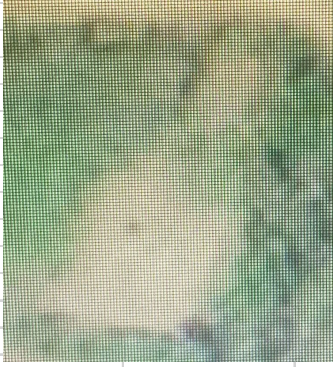







	AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA CONCESION VIAL DISEÑO I REGISTRO FOTOGRAFICO		
SEDE/PROYECTO: PUENTE QUEMAO - TORIBIO		FRENTE/AREA: GESTION SOCIO - PREDIAL	
		FECHA: MAYO DE 2024	HOJA 1 DE 1
REGISTRO PREDIO 1		REGISTRO PREDIO 2	
			
REGISTRO PREDIO 3		REGISTRO PREDIO 4	
			

Tabla 59: Registro Fotográfico Predial.

<p style="text-align: center;">REGISTRO PREDIO 5</p> 	<p style="text-align: center;">REGISTRO PREDIO 6</p> 
<p style="text-align: center;">REGISTRO PREDIO 7</p> 	<p style="text-align: center;">REGISTRO PREDIO 8</p> 
<p style="text-align: center;">REGISTRO PREDIO 9</p> 	<p style="text-align: center;">REGISTRO PREDIO 10</p> 
<p style="text-align: center;">REGISTRO PREDIO 11</p> 	<p style="text-align: center;">REGISTRO PREDIO 12</p> 

9.5.2. Localización de los predios

Luego de la ejecución de la ficha predial, se realiza en planos la localización de cada uno de los predios existentes que van a ser afectados por la construcción de la vía, es importante recalcar que acá se proyecta el chaflán y el eje de la vía que se va a realizar, el predio existente, y mediante diferentes guías se muestra el área total del predio y el área que va a ser afectado

por la construcción de la vía. A continuación, en las ilustraciones 51-62 se muestran estos predios.

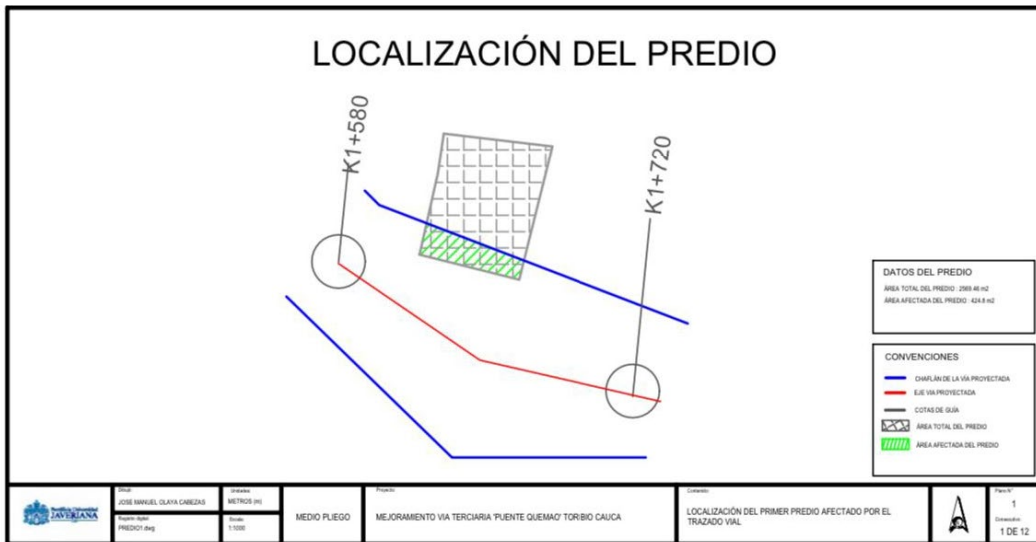


Ilustración 51. Localización del predio 1.

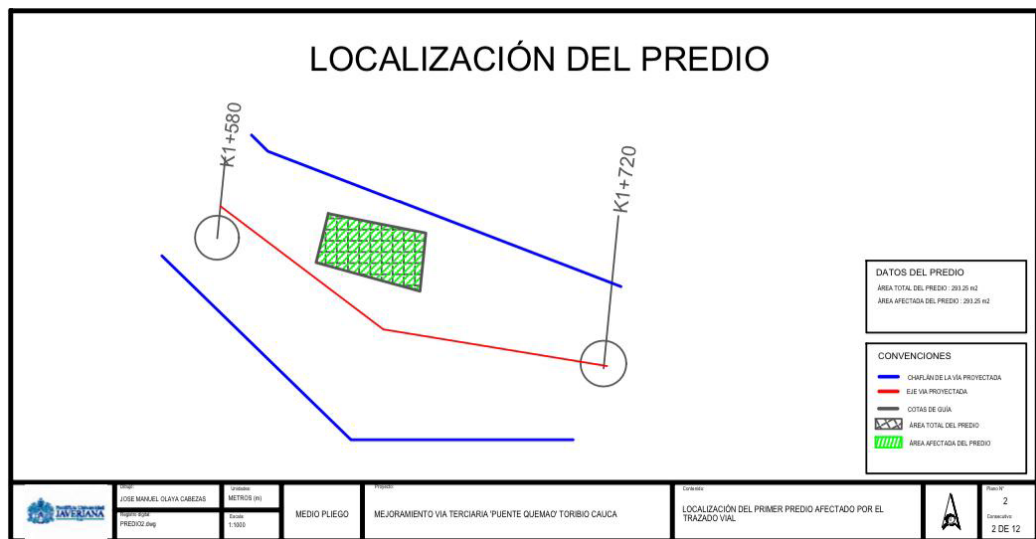


Ilustración 52. Localización del predio 2.

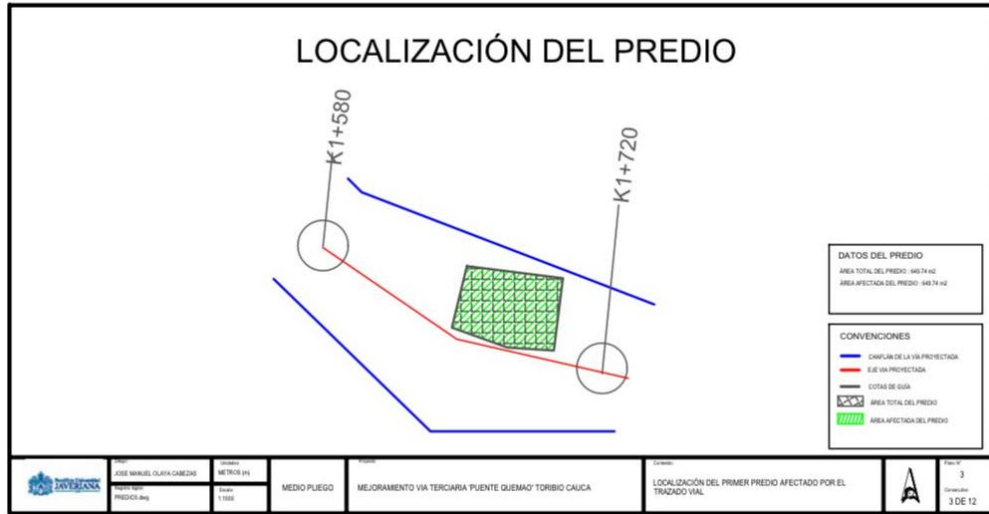


Ilustración 53. Localización del predio 3.

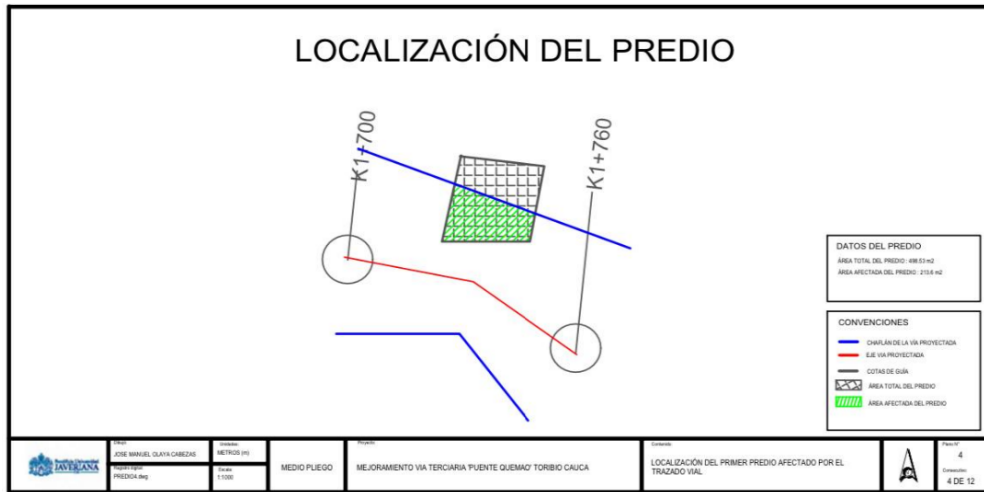


Ilustración 54: Localización del predio 4.

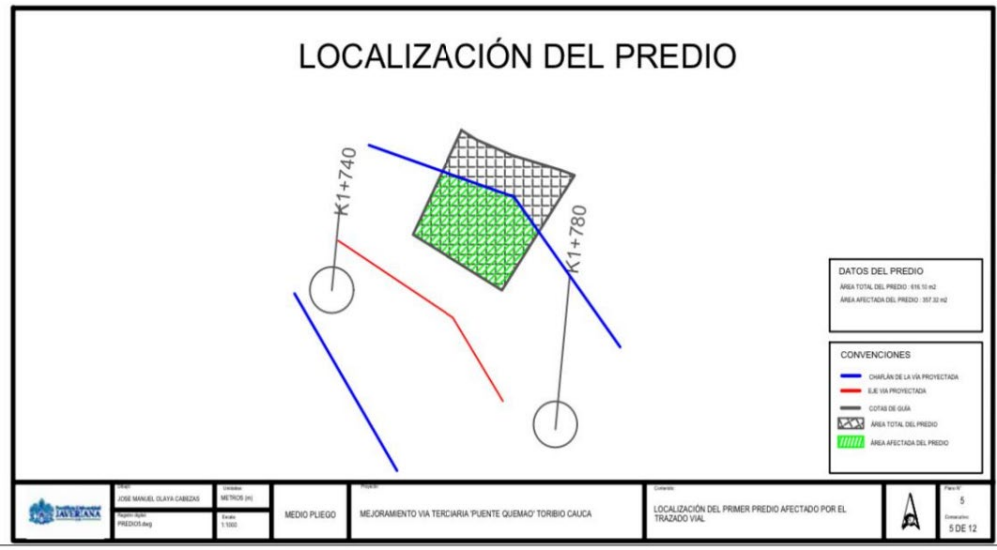


Ilustración 55: Localización del predio 5.

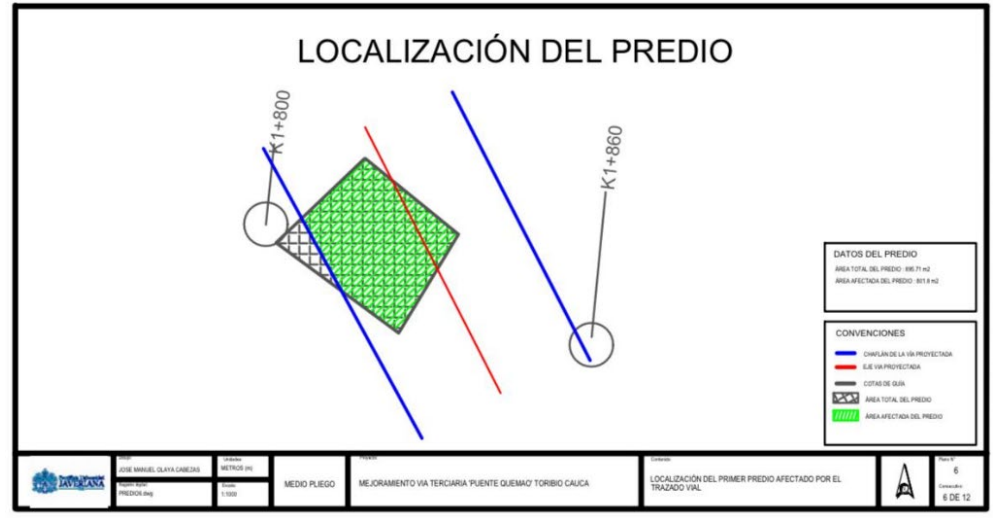


Ilustración 56: Localización del predio 6.

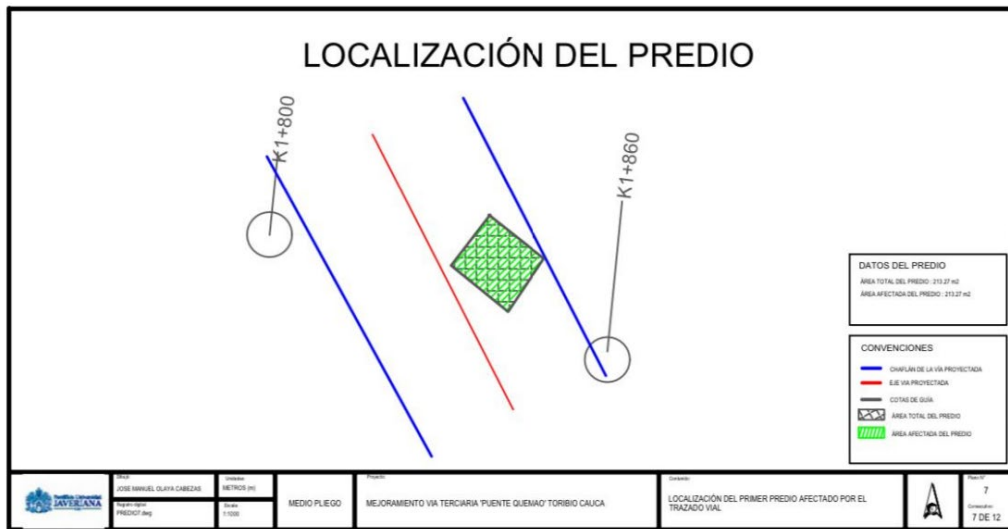


Ilustración 57: Localización del predio 7.

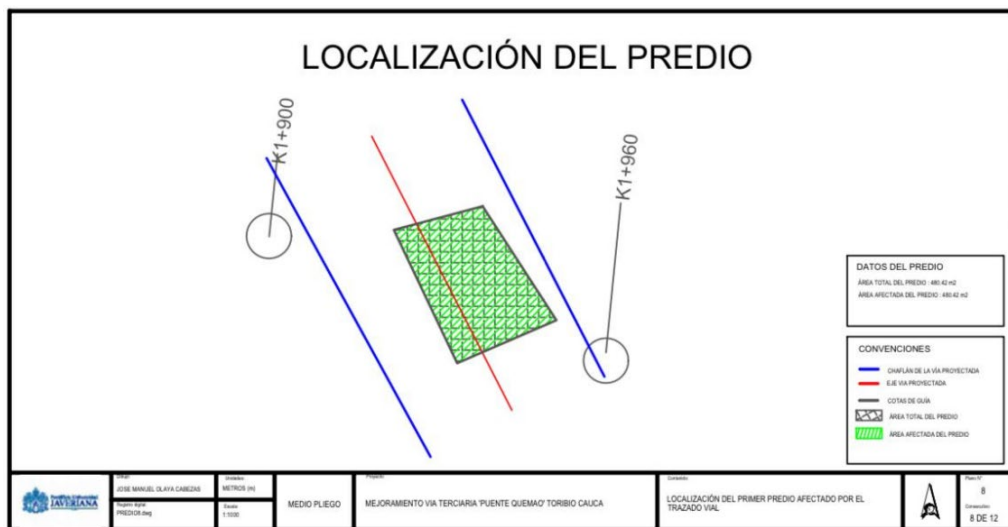


Ilustración 58: Localización del predio 8.

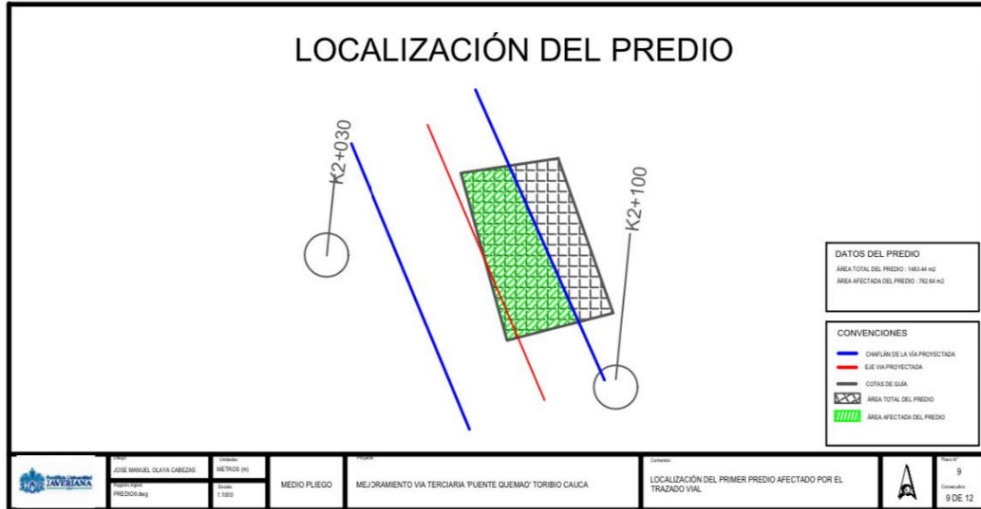


Ilustración 59: Localización del predio 9.

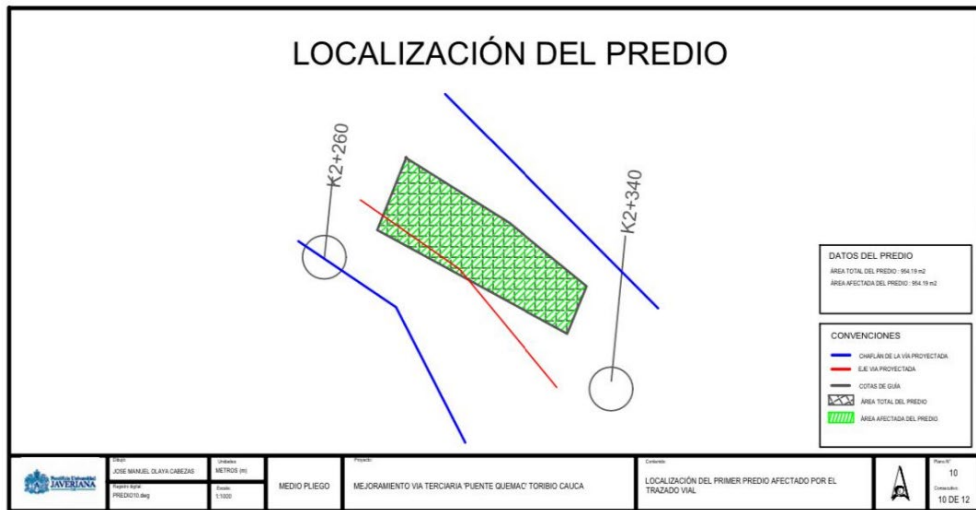


Ilustración 60: Localización del predio 10.

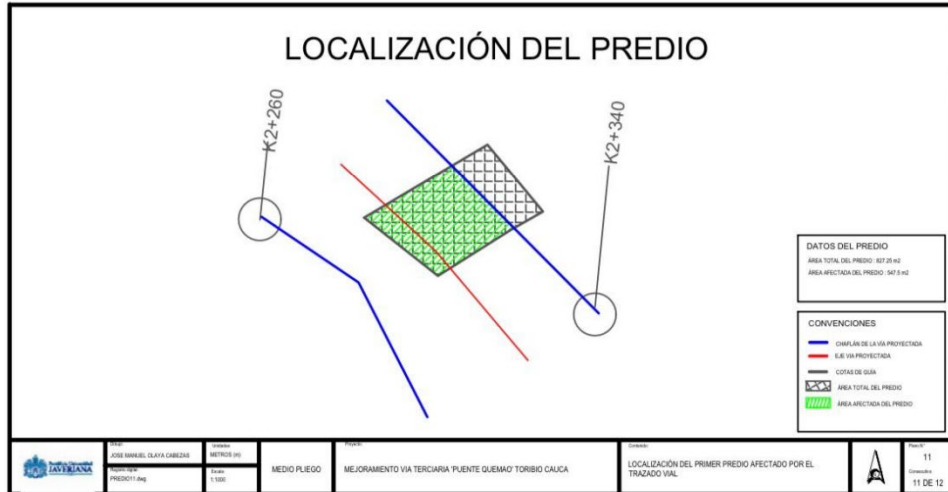


Ilustración 61: Localización del predio 11.

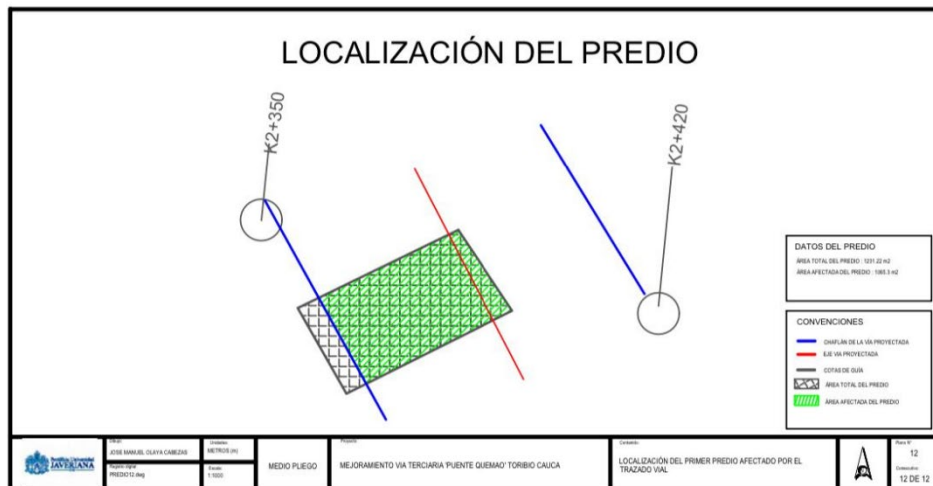


Ilustración 62: Localización del predio 12.

9.5.3. Análisis de la información obtenida

Una vez obtenida la información predial del proyecto, se logra reunir los componentes para hacer un análisis integral de la gestión predial, y bajo este criterio, se debe comenzar a negociar la adquisición de los terrenos, para garantizar vía libre a la ejecución del proyecto.

Al tratarse de una zona donde gran parte de los predios se asume que cuenta con algún tipo de licencia, pero no están sometidos al reglamento de la propiedad horizontal ley 675 de 2001, el cual establece diferentes reglas de convivencia entre colindantes, se pueden negociar los bienes inmuebles de forma independiente con cada uno de los propietarios, aparte por las deficientes condiciones de la zona los bienes inmuebles no estarán avaluados en valores muy altos.

Al analizar el impacto que tiene la construcción de la vía sobre los 12 predios afectados, se concluye que es necesario adquirir en su totalidad cinco de ellos debido a que el trazado de la línea de chaflán encierra la totalidad de las áreas de estos predios, lo cual significa que se verán afectados de forma directa. Los siete predios restantes se ven afectados de forma lateral, pero es importante destacar que, en su mayoría, se debe adquirir más del 50% del inmueble. Esto implica que, al negociar con los propietarios, la mayoría exigirá que se les adquiera la totalidad del predio, ya que el porcentaje requerido es muy alto. Solo hay un predio, el primero en verse afectado por la construcción de la vía, que presenta un bajo porcentaje de afectación, del 16.5%. Por lo tanto, se asume que solo en este caso se podrá negociar por una parte del predio.

Esta serie de situaciones indica que el impacto en la adquisición de predios es alto. Tanto es así que, al analizar el área total de los predios, que es de 10,712.56 m², y el área afectada por la construcción de la vía, que es de 6,763.8 m², se concluye que el área afectada representa un 63.13% del área total de los predios. Además, al considerar que en esta zona hay 21 predios, la construcción de la vía afecta al 57.14% de estos, es decir, a 12 predios.

Por estas razones, es necesario contar con una hoja de ruta estratégica y clara, que esté alineada con la normativa de legalidad de los predios en Toribio, para la correcta adquisición de estos y garantizar la factibilidad del proyecto en el componente de la gestión predial.

10. Presupuesto

Para analizar el presupuesto se realizaron las investigaciones de los precios del Cauca, y revisar las canteras más cercanas a la obra en el Toribio para calcular la distancia que se va a recorrer con los materiales e insumos.

Considerando la distancia que hay desde la ciudad de Cali hasta el Cauca, se decidió que todos los materiales se compraran en Toribio o alrededores para reducir los costos de transporte, por lo que se tomaron los valores obtenidos de la gobernación del Cauca en el Oriente, donde está la obra. Estos valores obtenidos fueron los del 2023 -2, por lo tanto, para poder usarlos se le aplicó el 10% lo cual expresa la inflación que se presentó en el país, para que los precios quedaran lo más aproximado a los de este año, los precios actuales son presentados a mitad del presente año por lo cual no fueron encontrados.

Después de tener todos los datos, se realizó la respectiva división de las actividades a realizar en siete grandes grupos, Explanación, Subbase y base, Pavimento Asfáltico, Drenaje, Muros, Señalización y Seguridad y por último Transporte. Para cada una de estas actividades se les realizó una subdivisión con las actividades que se van a realizar para cada uno.

Para presentar el costo de cada una de las actividades se realizaron APU, donde se muestra de forma más concreta y explicada lo que se va a utilizar en cada una de las actividades. Estos APU constan de equipos, materiales o insumos, transporte y por último mano de obra. Los datos obtenidos para los rendimientos de cada una de estas divisiones se obtuvieron de la CESOFT y del INVIA. Para realizar los APU, algunos son sencillos y otros son más complicados, esto varía dependiendo de los trabajos que se vayan a realizar. Cuando hablamos de la mano de obra, los salarios que se tomaron fueron obtenidos de un

Proyecto que nos suministró el profesor Javier Pérez, donde ya tenía una plantilla para poder realizar de forma más precisa, lo que se incluye en la contratación del personal como lo son las prestaciones sociales, esta plantilla es utilizada por el INVIAS.

SMMLV	\$ 1,300,000.00	1.00	% SOBRE SALARIO
Base mensual		\$ 1,300,000.00	100.00%
Auxilio de transporte		\$ 162,000.00	12.46%
Base mensual + Auxilio de transporte		\$ 1,462,000.00	-
PRESTACIONES SOCIALES		\$ 297,873.40	
Cesantías	8.33%	\$ 121,832.85	8.33%
Prima de servicios	8.33%	\$ 121,832.85	8.33%
Intereses sobre cesantías	0.03%	\$ 40.61	0.00%
Vacaciones	4.17%	\$ 54,167.10	4.17%
APORTES A LA SEGURIDAD SOCIAL		\$ 460,980.00	
Pensión	16.00%	\$ 208,000.00	16.00%
Salud	12.50%	\$ 162,500.00	12.50%
Riesgos laborales	6.96%	\$ 90,480.00	6.96%
PARAFISCALES		\$ 149,500.00	
SENA	2.00%	\$ 26,000.00	2.00%
ICBF	3.00%	\$ 39,000.00	3.00%
FIC (1 SMMLV / 40 Trabajadores)	2.50%	\$ 32,500.00	2.50%
Caja de compensación (4%)	4.00%	\$ 52,000.00	4.00%
TIEMPOS NO LABORADOS Y PAGADOS		\$ 5,709.17	
Festivos	0.37%	\$ 4,810.00	0.37%
Ausencias remuneradas	0.07%	\$ 899.17	0.07%
HORAS EXTRAS		\$ 4,517.50	
Horas extras por mes	0.35%	\$ 4,517.50	0.35%
DOTACIÓN (3 POR AÑO)		\$ 80,490	
Dotación personal	\$ 220,746	\$ 55,187	4.25%
Botas	\$ 101,213	\$ 25,303	1.95%
TOTAL PRESTACIONES		\$ 999,069.82	

TOTAL PAGADO (SALARIO + PRESTACIONES)	\$ 2,461,069.82	
SALARIO RESPECTO AL MÍNIMO (INCLUYE PRESTACIONES)	189.31%	187.24%

Para lo de Explanación se realizaron cuatro actividades presentadas posteriormente donde para cada una se le realizo su respectivo APU.

N°	ÍTEM DE PAGO	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
		GENERAL	PARTICULAR					
EXPLANACIÓN								
DESMONTE Y LIMPIEZA								
1	101	101		Desmante y limpieza en zona no boscosa	km	2.854	\$187,292.98	\$ 534,534
DEMOLICION Y REMOCION								
2	102	102		Remoción de alcantarillas	m	39.7	\$89,902.82	\$ 3,569,142
EXCAVACION DE LA EXPLANACIÓN, CANALES Y PRETAMOS								
3	103	103		Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m ³	60,356	\$14,749.58	\$ 890,225,859
REMOCION DE DERRUMBES								
4	104	104		Remoción de derrumbes	m ³	6035.6	\$16,524.59	\$ 99,735,792

Para subbase y base (para calzadas viales) y pavimentos asfálticos se realizaron tres grandes actividades presentadas posteriormente, para cada una se le realizo su respectivo APU.

SUBBASE Y BASE (PARA CALZADAS VIALES)								
SUBBASE GRANULAR								
7	107	107		Subbase granular clase A SBG - 50	m ³	4248	\$145,445.93	\$ 617,854,305
BASE GRANULAR								

8	108	108		Base granular clase A (NT3) gradacion gruesa BG-40	m3	4248	\$168,240.94	\$ 714,687,501
PAVIMENTOS ASFALTICA (PARA CALZADAS VIALES)								
MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE DE GRADACIÓN CONTINUA (CONCRETO ASFALTICO)								
9	109	109		Mezcla densa en caliente tipo MDC - 25	m3	1416	\$9,752.92	\$ 13,810,129

Para drenaje se realizaron seis actividades presentadas posteriormente, para cada una se le realizo su respectivo APU.

DRENAJE								
EXCAVACIONES VARIAS								
10	110	110		Excavaciones varias sin clasificar	m3	748	\$62,770.81	\$46,952,564.82
RELLENO PARA ESTRUCTURAS								
12	112	112		Rellenos para estructuras con material seleccionado	m3	13.6	\$759,257.01	\$ 10,325,895
CONCRETO ESTRUCTURAL								
13	113	113		Concreto Reforzado resistencia 35 MPa para disipadores, descoles pocetas y cabezales (alcantarillas y sumideros) - Compra de mezcla	m3	132.6	\$ 947,309.80	\$ 125,613,279
13.1	113.1	113.1		Acero de refuerzo Fy= 4200MPa	kg	9841.3	\$5,773.32	\$ 56,816,964
TUBERÍA DE PLÁSTICO								
14	114	114		Tubería de plástico tipo PVC, Norma NTC 5055, 24 pulgadas	m	119	\$1,332,386.17	\$ 158,553,955
CUNETAS REVESTIDAS EN CONCRETO								

15	115	115		Cuneta de concreto vaciada in situ; incluye la conformacion de la superficie de apoyo	m3	650	\$724,898.63	\$ 471,184,107
BORDILLO EN CONCRETO								
16	116	116		Bordillo en concreto vaciado in situ; no incluye la conformacion de la superficie de apoyo	m3	956	\$612,710.93	\$ 585,751,649

Para muros se realizaron dos actividades presentadas posteriormente, para cada una se le realizo su respectivo APU.

MUROS								
17	117	117		Acero de refuerzo Fy= 4200MPa	kg	6039.26	\$5,773.32	\$ 34,866,574
18	118	118		concreto rezorfado 25 Mpa	m3	166.95	\$901,468.62	\$ 150,500,186

Para señalización y seguridad se realizaron dos actividades presentadas posteriormente, para cada una se le realizo su respectivo APU.

SEÑALIZACION Y SEGURIDAD								
LÍNEAS DE DEMARCACIÓN Y MARCAS VIALES								
19	119			Líneas de demarcación con pintura en frio	m	2854	\$6,070.35	\$ 17,324,778
20	120	Manual de Señalización Vial 2015		Marca vial con pintura en frio	m2	55	\$42,601.32	\$ 2,343,072
TACHAS REFLECTIVAS								

			Manual de Señalización Vial 2015					
21	121	121		Tacha reflectiva (Tipo A - Retrorreflectiva bidireccional de un solo color) - Adhesivo époxico	u	560	\$13,599.87	\$ 7,615,929
22	122	122	Tacha reflectiva (Tipo E - Retrorreflectiva bidireccional de dos colores) - Adhesivo époxico	u	800	\$13,453.21	\$ 10,762,566	

Para transporte se realizaron una actividad presentada posteriormente, para cada una se le realizo su respectivo APU.

TRANSPORTE								
TRANSPORTE DE MATERIALES PROVENIENTES DE EXCAVACIONES Y DERRUMBES								
23	123	123	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos para distancias mayores de mil metros (1 000 m), medido a partir de cien metros (100 m)	m3-km	48292.94	\$1,196.70	\$ 57,792,391	

El resumen de las diferentes actividades que realizaron y la discriminación del AIU, se presentaran a continuación, teniendo en cuenta predios e interventoría, dándonos un saldo total de **9,337,390,166** por toda la obra que vamos a realizar.

RESUMEN DE CAPÍTULO	
EXPLANACIÓN	\$ 994,065,327
SUBBASE Y BASE (PARA CALZADAS VIALES)	\$ 1,332,541,805
PAVIMENTOS ASFALTICA (PARA CALZADAS VIALES)	\$ 13,810,129

DRENAJE	\$ 1,455,198,414
MUROS	\$ 185,366,760
SEÑALIZACION Y SEGURIDAD	\$ 38,046,345
TRANSPORTE	\$ 57,792,391
COSTO DIRECTO DE LAS OBRAS	\$ 4,076,821,172

DISCRIMINACIÓN DEL AIU

Administracion:	23.00%	\$ 937,668,870
Costos de administracion (respecto a costo de obras)	17.27%	\$ 704,067,016
Impuestos y retenciones (respecto a costo de obras mas 30% de AIU definido por la entidad)	4.30%	\$ 175,303,310
Garantias (respecto a costo de obras mas 30% de AIU definido por la entidad):	1.43%	\$ 58,298,543
Utilidad:	7%	\$ 285,377,482
Imprevistos:	0%	\$ 0
TOTAL AIU:	30.00%	\$ 1,223,046,352
IVA (sobre utilidad)	19%	\$ 232,378,807
SUBTOTAL OBRAS (INCLUYE AIU E IVA):		\$ 5,532,246,330

A) COSTO TOTAL OBRAS + AIU + IVA	\$ 5,532,246,330
B) COSTO GESTIÓN AMBIENTAL, SOCIAL Y PMT (5% A)	\$ 276,612,317
C) COSTOS ADQUISICIÓN PREDIAL (Corresponde al valor del área de terreno a comprar)	\$ 3,000,000,000
D) COSTOS APROVECHAMIENTO Y COMPENSACIÓN FORESTAL	\$ 0
E) COSTO TOTAL DEL PROYECTO (A + B + C + D)	\$ 8,808,858,647
COSTO INTERVENTORÍA (8% E)	\$ 528,531,519
COSTO DEL PROYECTO + INTERVENTORÍA	\$ 9,337,390,166

11. Referencias

Alcaldía Municipal de Toribio. (2014). Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres CMGRD (DECRETO MUNICIPAL N°012)

[Virtual]. http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/3235/EMRE_ToribioCauca_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ARGOS. (2024). *Cartilla Cunetas en Concreto, Versión 2*.
https://colombia.argos.co/fichas_tecnicas/Cartilla-Cunetas-soluciones-viales.pdf

Carrion, C., Ramirez. I. (2019). Diagnóstico Para el Mejoramiento de una Vía Terciaria que Comunica la Vereda Puente Piedra y el Municipio de Madrid, Cundinamarca
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/23f9c2760e174a74a616f30ba6ea4e81/content>

Durango, E. A. (2015). Relación entre infraestructura vial y desarrollo económico en los municipios de Antioquia: aplicación espacial. Universidad EAFIT.
https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/11897/EdiliaAndrea_DurangoAgudelo_2016.pdf?

Gobernación del Departamento del Cauca. (2021). Resolución No. 07950 [Virtual].
<https://www.cauca.gov.co/NuestraGestion/Normatividad/Resoluci%C3%B3n%20No.%2007950%20de%202021.pdf>

INVIAS. (2016). Clasificación de las Carreteras.
<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/2706clasificacion-de-las-carreteras>

INVIAS. (2018). Glosario de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.
<https://www.invias.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/glosario/130-glosario-manual-diseno-geometrico-carreteras>

INVIAS. (2006). Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles. <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/politicas-y-lineamientos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/974-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-flexibles>

Marmolejo Ortiz, A. (2018). Perfil del Municipio de Toribio en el Cauca para el Desarrollo y la Competitividad Territorial. Universidad Autónoma de Occidente. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/12201/T09054.pdf?sequence=5&is>

Wikipedia. (2022). Toribio. <https://es.wikipedia.org/wiki/Torib%C3%ADo>

PROYECTO TIPO DE MEJORAMIENTO: CONCEPTOS GENERALES Y ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA. (2021, 28 abril). comunidad virtual de vías regionales. Recuperado 5 de octubre de 2023, de <https://onl.dnp.gov.co/sites/comunidadvirtual/comunidadvirtual/Paginas/Proyectos-tipo-de-mejoramiento.aspx>

Gómez, J., y Montes, N.E. (2020). *Mapa Geológico de Colombia en Relieve*. Servicios Geológicos Colombinos. https://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Mapa_Geologico_Colombiano_2020/

Gómez, J. (2020). *Mapa Geológico Colombiano 2020*. Servicio geologico colombia. Recuperado 5 de octubre de 2023, de https://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Mapa_Geologico_Colombiano_2020/

Capítulo 3– AFIRMADOS SUBBASES Y BASES Art. 320. (2013). INVIAS. Recuperado 5 de octubre de 2023, de <https://gerconcesion.co/invias2013/320%20SUB-BASE%20GRANULAR.pdf>

Resolución número 0001530 de 2017, por la cual se adoptan los criterios técnicos, la matriz y la guía metodológica para la categorización de las vías que conforman el Sistema Nacional de Carreteras o Red Vial Nacional Y se dictan otras disposiciones. (s. f.). vLex. <https://vlex.com.co/vid/resolucion-numero-0001530-2017>

Story Map Journal. (s. f.).

<https://invias.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=f36165b30ec7418396bfb8b97d6be05b>

#

Instituto Nacional de Vías - INVÍAS. (2011). *Manual de drenaje para carreteras*. (n.d.). <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras>

Instituto Nacional de Vías - INVÍAS. (2017). *Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella*. (n.d.). <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/6644-guia-de-disenoo-de-pavimentos-con-placa-huella>

Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías - INVÍAS. (2023). *Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales* (n.d.). <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/14788-cartilla-de-obras-menores-de-drenaje-y-estructuras-viales/file>

Hydrovlab. (n.d.). Wiki. Copyright 2010 Virtual Laboratory for Hydrology (Hydrovlab). <http://www.hydrovlab.utpl.edu.ec/WIKI/tabid/120/loc/TopicHistory/ShowHistory/156/language/en-US/Default.aspx?topic=Time+of+concentration+of+a+watershed>

Colegio de Estudios Superiores de Administración – CESA (2020). https://repository.cesa.edu.co/bitstream/handle/10726/2495/ADM_1019127025_2020_1.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Ministerio de Transporte y Agencia Nacional de Infraestructura – ANI. (2013). *Gestión y Adquisición Predial – Apéndice F*. https://www.ani.gov.co/sites/default/files/11._apendice_tecnico_7_-_gestion_predial_licitacion_acesos_norte_2.pdf

Banco Mundial. (2014, 16 de septiembre). El transporte público, herramienta para reducir la pobreza en Latinoamérica. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/09/16/transporte-publico-herramienta-para-reducir-la-pobreza-en-latinoamerica>

Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2023, 14 de diciembre). El empleo que generan las obras en nuestro país. <https://www.invias.gov.co/index.php/35-servicios-de-informacion-al-ciudadano/oferta-de-empleo>

Fundación Vida Sostenible. (2023). Encuesta nacional de logística.

<https://rutadelasostenibilidad.org/wp-content/uploads/2023/12/Encuesta-nacional-logistica-1.pdf>.

Recuperado de <https://rutadelasostenibilidad.org/>