

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1. Introducción

Denominamos camino a una franja de la superficie terrestre modificada por el hombre para dotarla de características y condiciones adecuadas para la circulación de todo tipo de vehículos, la que facilita la comunicación entre poblaciones, funcionalmente es un medio destinado a satisfacer necesidades de la población en cuanto a traslado de personas y productos se refiere.

La carretera actual que une las comunidades de los naranjos y serere limal, es una carretera que hoy en día no se encuentra pavimentada, además que también no cumple con las normas de diseño de carreteras vigentes de nuestro país, ya que en todo el tramo mencionado no se cuenta con las suficientes obras de drenaje, y viendo esto, nos muestra una carretera que se encuentra en mal estado y en pésimas condiciones de transitabilidad, por lo que se va generando pobreza en este sector, ya que al ser la agricultura la principal fuente de ingreso en la zona esta no puede crecer debido al costo elevado del transporte generando más pérdidas que ganancias en todas las personas que habitan en dichas comunidades.

El objetivo del presente proyecto es realizar el Diseño de Ingeniería, para el mejoramiento del camino, tramo Cruce Los Naranjos – Cruce Serere Limal, realizando estudios de los diferentes componentes de ingeniería, los cuales puedan cumplir con las normas vigentes de diseño de carreteras de nuestro país; de tal manera, que se cumpla con todas las expectativas de la población beneficiaria con el proyecto.

La realización de este proyecto de Diseño de Ingeniería, estará basado principalmente en la normas de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras), en sus diferentes componentes como el manual de diseño geométrico, manual de hidrología y drenaje, manual de dispositivos de control de tránsito y manual de ensayos de suelos y materiales, de esta manera se podrá realizar de una forma adecuada todas las prácticas necesarias, ya que dicho proyecto es importante para poder brindar una vía caminera accesible, segura y transitable durante toda época del año, para así poder contribuir con el desarrollo de todas las comunidades beneficiarias.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Situación problemática

La vinculación caminera es un pilar fundamental para el desarrollo socioeconómico de las regiones, ya que viene a constituirse en el medio más importante para la integración y desarrollo de las mismas, y este impulso social y económico genera un efecto multiplicador que contempla no sólo el entorno local, sino abarca los ámbitos regionales, departamentales y nacionales.

Esto, con mayor realce cuando se evidencia que existe un elevado potencial productivo en la zona de intervención.

El camino del cruce los naranjos – cruce serere limal requiere una solución rápida que garantice la comunicación fluida entre los dos puntos de distribución.

Este camino es de tierra y tiene muchas deficiencias funcionales, como desniveles y deterioros en la rasante, tiene radios de curvatura reducidos, no cumple con el ancho de calzada, el camino es de tráfico mediano y además que tampoco existe un mantenimiento continuo del mismo que garantice la buena circulación y seguridad de los usuarios.

Si bien los problemas que atraviesan las familias de la zona de influencia del proyecto son diversos, siendo además del camino en malas condiciones, la falta de centros educativos y servicios de salud, se puede mencionar que la incipiente agricultura que se genera en las comunidades a fines del proyecto no brinda los alimentos necesarios para cubrir una dieta balanceada.

No es propósito del presente proyecto solucionar todos estos problemas, sino contribuir a mejorar la conectividad vial de la zona para favorecer los desplazamientos poblacionales hacia la búsqueda de los servicios requeridos, además de generar la posibilidad de la introducción de una línea de colectivos o micros con tránsito permanente programado hacia la zona.

1.2.2. Problema

¿De qué manera el diseño de ingeniería de los elementos de una carretera, puede aplicarse al tramo Cruce Los Naranjos – Cruce Serere Limal y mejorarlo?

1.3. Justificación del proyecto

El desarrollo de un país mediante la integración de sus carreteras es de vital importancia para el mismo, ya que a través de ellas los departamentos, las comunidades y demás sectores afines pueden ir desarrollándose y creciendo de forma social y económica.

De este modo se vio la necesidad de realizar el presente proyecto debido a que no existe un camino en buen estado que comunique las comunidades de los naranjos y serere limal, ya que actualmente éste es un camino de tierra y no cuenta con las condiciones necesarias para que el flujo vehicular pueda circular sin ningún problema durante toda época del año. Las condiciones en las que se encuentra el camino mencionado son las siguientes: la capa de rodadura no cuenta con un ripiado en todo el tramo, la misma que en época de lluvia se vuelve intransitable por las condiciones actuales que presenta, además de esto no cuenta con obras de arte como ser alcantarillas ni cunetas, y es por esto que se hace difícil el drenaje de las aguas de las precipitaciones pluviales. El diseño se realizará aplicando todos los conocimientos adquiridos en el aula y llevándolos a cabo a la realización real de un proyecto para la construcción de una vía de comunicación o sistema carretero, cumpliendo las normativas y parámetros de diseño establecidos por la A.B.C.(Administradora Boliviana de Carreteras), para así lograr un diseño óptimo de carretera, que mejore las condiciones de la vía existente para que los vehículos que circulen tengan seguridad durante los 365 días del año, garantizando así también que los comunarios puedan transportar su producción a la ciudad o a las comunidades aledañas para su comercialización.

En vista de toda esta problemática y haciendo un análisis a fondo, se puede decir que es más que justificativo la elaboración de un proyecto a diseño final de ingeniería para dicho tramo con el fin de solucionar y mejorar la calidad de vida de todas las personas de las comunidades que se beneficiarán con el presente proyecto.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar el diseño de ingeniería, para el mejoramiento del camino, tramo Cruce Los Naranjos – Cruce Serere Limal, llevando a cabo estudios de los diferentes componentes

de ingeniería, los que puedan cumplir con las normas vigentes de diseño de carreteras de nuestro país; de tal manera, que se cumpla con todas las expectativas de la población beneficiaria con el proyecto.

1.4.2. Objetivos específicos

- Elaborar un marco teórico referencial el cual se pueda respaldar con una buena bibliografía.
- Realizar el levantamiento topográfico de la zona de estudio utilizando los equipos necesarios.
- Efectuar los estudios geotécnicos para obtener las características, composición u otro comportamiento que pueda tener el suelo.
- Realizar los estudios de tráfico correspondiente al tramo existente.
- Realizar los estudios hidrológicos e hidráulicos de toda la zona del proyecto.
- Elaborar el diseño geométrico del camino basándose en normas vigentes de diseño de carreteras de nuestro país.
- Diseñar las obras necesarias para los drenajes tanto transversales como longitudinales.
- Diseñar la señalización horizontal como vertical de la carretera en base a las normas vigentes de nuestro país.
- Desarrollar los cálculos métricos y los análisis de precios unitarios de los ítems para la elaboración del presupuesto general.
- Elaborar la ficha ambiental del proyecto, para determinar la magnitud de los impactos ambientales que podría ocasionar a la zona de emplazamiento de la carretera.

1.5. Alcance

Al realizar este proyecto de diseño de ingeniería para el tramo cruce los naranjos – cruce serere limal, se llevarán a cabo actividades de inspección y reconocimiento del sitio del proyecto para luego efectuar estudios anteriormente mencionados los cuales nos permitirán conocer las características de la zona.

La parte ingenieril del proyecto se inicia desarrollando una revisión en la normativa vigente para el diseño de vías, en esta parte del proyecto se establecerán los parámetros

de diseño, una vez realizados los estudios mencionados anteriormente, se procede al diseño geométrico de la vía, el cual trata de un diseño planimétrico y altimétrico del camino también se diseñarán las secciones transversales y se obtendrá el cálculo de volúmenes de corte como de relleno.

En la etapa de diseño del drenaje se examinarán las características climatológicas del lugar, así como los caudales de crecidas y otros factores de importancia para el diseño de obras que permitan un adecuado sistema de drenaje en toda la vía, para su protección y correcto servicio.

Durante el diseño estructural se hará un análisis del tipo de capa de rodadura que se utilizará en este proyecto, donde se utilizarán los estudios de tráfico y estudios geotécnicos para efectuar el diseño de los espesores del pavimento que se llegará a seleccionar.

Luego se realizarán los cálculos métricos de los ítems que se ejecutarán en el proyecto y se harán unos análisis de los precios unitarios para luego hacer el presupuesto general del mismo, y por último dejar en claro todas las especificaciones técnicas que se deberán cumplir cuando se estén ejecutando cada uno de los ítems.

Finalmente, de todo el estudio realizado se obtendrán conclusiones finales y se darán las recomendaciones respectivas de acuerdo a los objetivos planteados.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

2.1. Ubicación del proyecto

El área de estudio del proyecto que comprende el camino actual que une las comunidades de Naranjos y Serere Limal, se encuentra ubicada en el Departamento de Tarija, en el Municipio de Entre Ríos en la Primera y única Sección Municipal de la Provincia O'Connor. Para llegar al punto de inicio del proyecto, de la población de Entre Ríos, se toma la carretera en construcción hacia la comunidad de Salinas; a una distancia aproximada de 7 Km. está la Comunidad de Los Naranjos.

Figura 1. Mapa de ubicación a nivel departamental



Figura 2. Mapa de ubicación a nivel de provincia

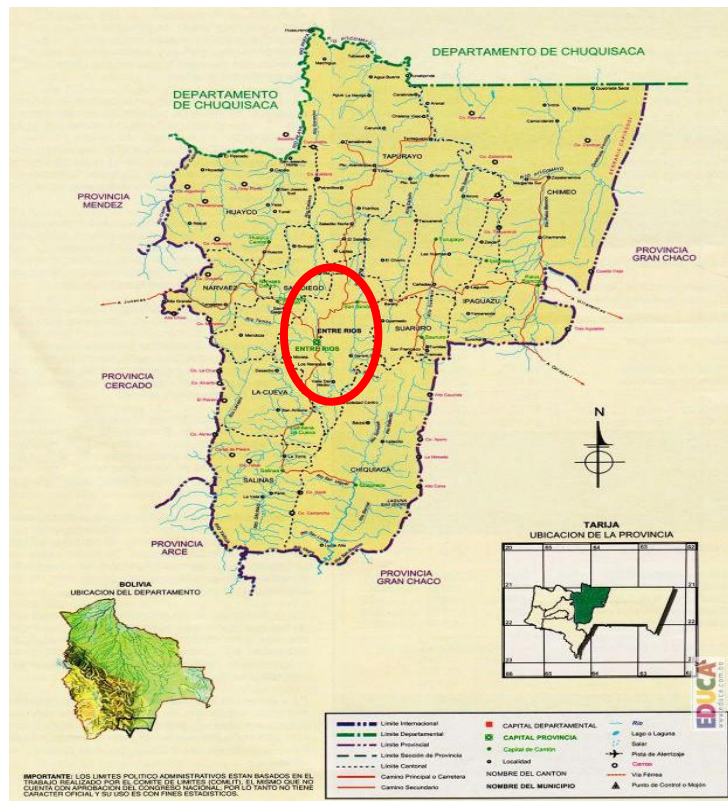
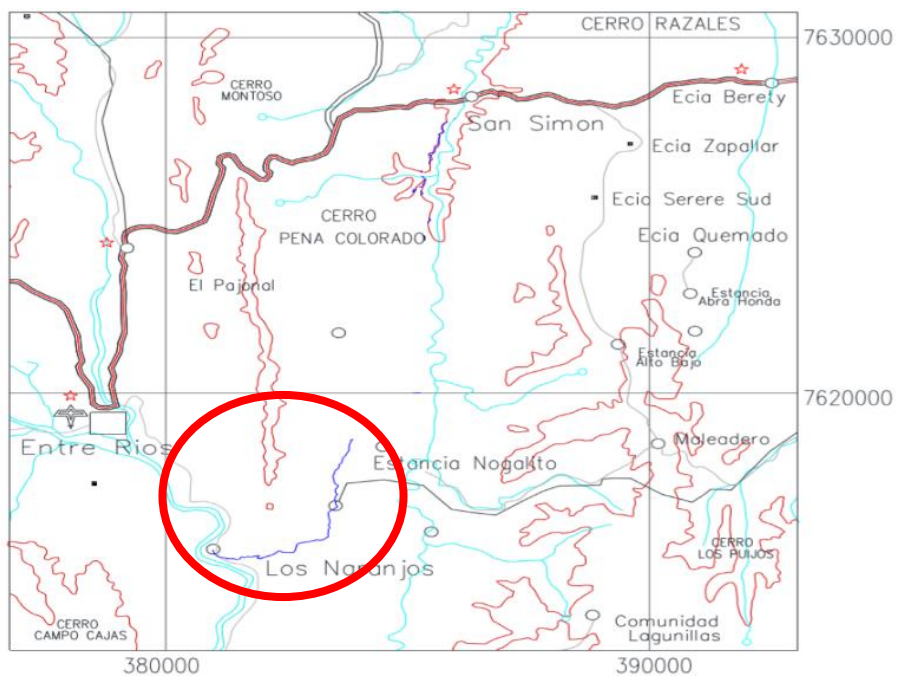


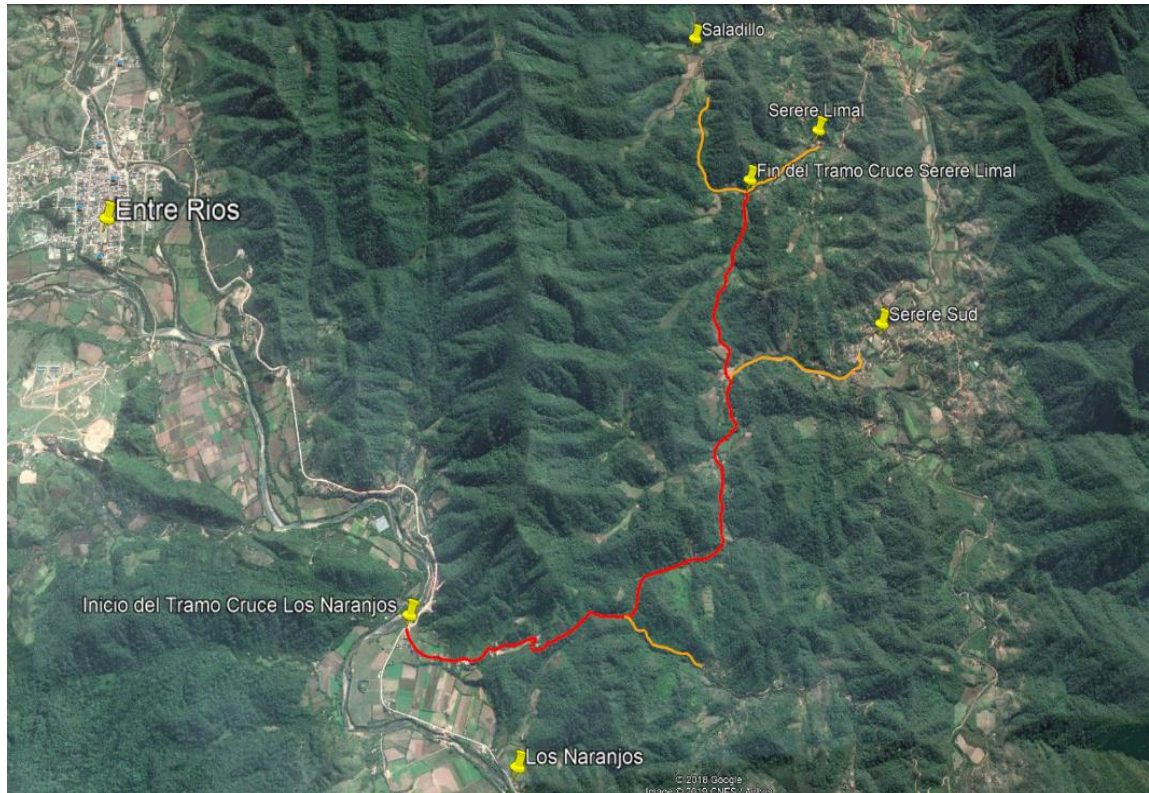
Figura 3. Mapa de ubicación específica del proyecto



2.1.1. Ubicación geográfica

Geográficamente el proyecto inicia en la Comunidad de Los Naranjos, exactamente en el cruce de dicha Comunidad, con unas coordenadas de inicio de 21°33'33" S de latitud sud y 64°08'58" W de longitud oeste y finaliza en el Cruce de Serere Limal con unas coordenadas de 21°31'51" S de latitud sud y 64°07'18" W de longitud oeste.

Figura 4. Vista del emplazamiento de la carretera



Fuente: Google Earth

2.2. Características generales del área del proyecto

Servicios básicos existentes.

Cualquier comunidad debería contar con servicios básicos como: agua potable, energía eléctrica, salud, educación y otros. Sin embargo, no todas las comunidades son atendidas por el gobierno central o municipal, debido a muchos factores tales como ser la falta de recursos financieros, descuido de las autoridades centrales, entre otros factores. En este apartado se analiza si las comunidades del área de influencia del proyecto cuentan con los servicios anteriormente citados.

2.2.1. Servicios de agua potable

Los servicios de agua potable en el área de influencia del Proyecto son regulares, ya que, del total de 118 familias beneficiarias, 116 cuentan con este servicio, solo dos familias carecen del mismo. La cobertura de agua potable representa el 98% de agua potable por cañería. Las familias que no gozan de este servicio, se ven obligadas a consumir agua de ríos, quebradas y vertientes, que se encuentran cercanos a la Comunidad.

Cuadro 1. Cantidad de familias con y sin agua potable por cañería

Comunidad	Número de familias	N° de familias	
		Con agua potable	Sin agua potable
Los Naranjos	85	85	0
Serere Limal	33	31	2
Total	118	116	2

Fuente: Diagnóstico Municipal de Entre Ríos

2.2.2. Servicio de alcantarillado

Del total de las 118 familias en las comunidades beneficiarias, 106 familias cuentan con letrinas, mientras que hay 12 familias no tienen ninguno de estos servicios para eliminar excretas.

Todas estas familias que no disponen de un sistema de eliminación de excretas, se ven obligadas a hacer sus necesidades en el campo abierto, lo que se convierte en foco de contaminación y, por tanto, existe una mayor exposición a enfermedades y parásitos poniendo en riesgo la sanidad de las mismas familias, de los animales domésticos y el medio ambiente (agua de los ríos y aire).

Cuadro 2. Cobertura y medios para la eliminación de excretas

Comunidad	Número de familias	N° de familias			
		Alcantarillado	Pozo ciego	Con letrina	Ninguna
Los Naranjos	85	0	0	76	9
Serere Limal	33	0	0	30	3
Total	118	0	0	106	12

Fuente: Diagnóstico Municipal de Entre Ríos

2.2.3. Servicios de electricidad

Con relación al servicio de electricidad en el área de influencia del proyecto, el 90% de los hogares son favorecidos con energía eléctrica y el restante 10% no cuenta con este servicio.

Cuadro 3. Servicio de energía eléctrica en el área de influencia del proyecto

Comunidad	Número de familias	N° de familias	
		Con energía eléctrica	Sin energía eléctrica
Los Naranjos	85	77	9
Serere Limal	33	29	3
Total	118	106	12

Fuente: Diagnóstico Municipal de Entre Ríos

Generalmente, todas estas familias para tener alumbrado en su casa y hacer funcionar algunos artefactos utilizan los siguientes insumos: Kerosén, velas, pilas, gas, baterías y otros que al final de cuentas les resulta antieconómicos.

2.2.4. Servicios de educación

De manera general, el Distrito Escolar de Entre Ríos cuenta con 10 núcleos o establecimientos centrales, conformados por 79 establecimientos o unidades educativas, 77 fiscales y 2 de convenio. Existen 7 unidades que brindan servicios educativos hasta el nivel secundario, ubicadas en el centro del poblado de Entre Ríos (2) y en las comunidades de Potrerillos, Ñaurenda, Chiquiacá, Salinas y Narváez.

En cuanto a las Comunidades beneficiarias con el Proyecto, se puede indicar que todas cuentan con una escuela, lo que significa que en el tema de la educación la cobertura es buena, aunque solo se tiene el nivel inicial y primario, de modo que los estudiantes que deseen continuar sus estudios en el nivel secundario deben asistir a la Comunidad más cercanas u otros poblados que cuenten con el nivel secundario.

Cuadro 4. Servicio de educación en las comunidades beneficiarias

Unidad educativa	Servicios de educación			
	Tipo/nivel	N° de alumnos	N° de profesores	Estado del establecimiento
Los Naranjos	Inicial	21	1	Regular
	Primario	140	8	
Serere Limal	Inicial	8	0	Regular
	Primario	25	2	
Total	--	194	11	--

Fuente: Diagnóstico Municipal de Entre Ríos

2.2.5. Servicios de salud

El municipio de Entre Ríos cuenta con 25 establecimientos de salud, 1 hospital de segundo nivel ubicado en la capital del municipio, 2 centros de salud localizados en Potrerillos y Palos Blancos y 22 puestos sanitarios en diferentes comunidades.

En cuanto a los servicios de salud en el área de influencia del proyecto, las Comunidades de Los Naranjos y Serere Limal no cuentan con una infraestructura de salud, mientras que en la Comunidad de Serere Sud se tiene una Posta de Salud, con la atención de una enfermera. Sin embargo, hay que aclarar que en estas comunidades donde no existen postas u otra infraestructura de atención médica, las mismas son atendidas o cubiertas con las visitas multiprogramáticas del personal de Salud del Distrito al que Corresponden.

Generalmente, cuando se presentan casos de enfermedad o para realizar el control a los niños, los comunitarios tienen que trasladarse hasta las comunidades más cercanas donde haya la prestación del servicio de salud, o los casos que presentan mayor gravedad son derivados y trasladados hasta Entre Ríos.

Entre las principales enfermedades presentadas en el área de influencia del proyecto, se tiene: resfrío, infecciones respiratorias agudas, paludismo, diarrea, dolor de cabeza y otras.

2.2.6. Modalidades de recolección y disposición de residuos sólidos

Los sistemas de recolección y tratamiento de basura y residuos sólidos no existen en ninguna de las Comunidades del área Rural, por lo que en la mayoría de los casos los desechos son quemados, enterrados en los terrenos, sirve de alimentación a los animales o lo tiran al aire libre.

2.3. Aspectos climáticos

Desde el punto de vista climático, la zona del proyecto pertenece a la región subandina, presenta un clima semicálido húmedo a sub húmedo, seco mega termal con riesgos climáticos como heladas en los meses de junio a agosto, y granizadas de octubre a noviembre.

La zona del proyecto pertenece al Valle del Río Salinas que forma parte del Valle del Medio, por lo que, su clima es característico del valle, con una temperatura promedio de 19°C y una precipitación media anual de 1200 mm.

Temperatura.

La temperatura está estrechamente relacionada con la altura y con las estaciones del año, la zona del proyecto que pertenece al Valle del Medio, presenta un valor medio anual de 19 °C, mientras que su valor máximo extremo es de 40 °C, se presenta en los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero; es decir, durante las estaciones de primavera y verano.

El valor mínimo extremo es de -7 °C, presentado en los meses de julio y septiembre; sin embargo, durante los meses de mayo, junio, julio, agosto inclusive septiembre se presentan temperaturas bajo cero.

Humedad relativa.

La humedad relativa depende de factores como la altura sobre el nivel del mar, la temperatura y la orientación de las pendientes del régimen de precipitación.

En la zona de los valles donde se encuentra el proyecto, la humedad relativa alcanza valores medios mensuales más altos durante los meses de enero, febrero y marzo con valores cercanos al 80%; y los meses con valores más bajos alrededor de 65% en la época seca. De acuerdo a los datos registrados por la estación de Entre Ríos, la humedad relativa promedio para la zona del proyecto es del 72 %.

Evaporación.

La evaporación es un fenómeno climatológico que da origen a la formación de nubes, su concentración varía con la altura, temperatura y lugar.

Para el presente estudio se disponen de registros de evaporación provenientes de la Estación de Entre Ríos (Pajonal), en el periodo 1990 a 1999, si bien es muy corto el

periodo de registro y no ha tenido continuidad; sin embargo, los valores registrados permiten tener una idea del comportamiento de esta variable climatológica en la zona del proyecto.

El valor promedio de evaporación en la zona es de 4.21 mm/día; sin embargo, la máxima de 5.32 mm/día, ocurre en el mes de octubre, que es el mes más seco y 2.62 mm/día como el valor más bajo producido en el mes de junio.

Vientos.

Los vientos en la zona subandina, no son de magnitud considerable; se producen velocidades promedio anual de alrededor de 6.3 km/h. Las velocidades más fuertes se producen en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre; con dirección norte.

El periodo de registro abarca desde 1987 a 2004, sin embargo, el registro es bastante irregular, en algunos años no se cuenta con datos de todos los meses.

La dirección predominante es al norte, y los valores entre los más y los menos fuertes no son muy diferentes, la media anual es de 6.3 Km/h.

Precipitaciones.

La precipitación en el departamento de Tarija está vinculada a las masas de aire que en la época de lluvias llegan desde el sudoeste del continente, las mismas que al encontrarse con las serranías del subandino se elevan, enfrían y precipitan.

En la zona del proyecto se tiene un promedio anual de precipitación de 1200 mm de acuerdo a los registros de las estaciones de Entre Ríos y Salinas.

La distribución espacial y temporal de las precipitaciones se caracteriza por presentar dos periodos marcados: el de precipitaciones de noviembre a marzo y el periodo seco de abril a octubre; sin embargo, en el subandino (zona de ubicación del proyecto) se producen lloviznas en el periodo seco.

2.4. Estudios previos al diseño

Para realizar el diseño geométrico es necesario realizar estudios previos para poder determinar los parámetros de diseño, y así de esta manera poder cumplir con los objetivos planteados en el presente proyecto.

Los estudios previos que se realiza son los siguientes:

Estudio topográfico

Estudio geotécnico

Estudio de tráfico

Estudio hidrológico

2.4.1. Estudio topográfico

Para la ejecución de un diseño geométrico es necesario partir de las características topográficas del terreno donde va a ser ejecutada la obra, para ello es necesario recurrir a la topografía la cual nos ayudará a realizar un levantamiento topográfico del lugar para obtener la representación gráfica de las características del terreno del lugar de emplazamiento del proyecto, además cabe mencionar que el levantamiento topográfico fue realizado con el apoyo de un técnico en topografía y de manera conjunta con mi persona.

2.4.1.1. Trabajo de campo

Primeramente, el trabajo de campo consistió en realizar un reconocimiento de la topografía del terreno, donde se llevará a cabo el proyecto, para ir evaluando posibles alternativas de trazo. Después de realizar el reconocimiento de campo se procedió a realizar el levantamiento topográfico del terreno con el empleo de un equipo topográfico adecuado (Estación Total), y este trabajo consistió en lo siguiente:

Se inició con el levantamiento de la poligonal base, para esto se necesitó realizar el levantamiento de una línea base de partida georeferenciada en dos puntos con la ayuda de un GPS (sistema de referencia en coordenadas UTM), luego en base a esta línea se realizó la poligonal abierta, dejando como referencias los Bench Marks (BMs) correspondientes a cada 400 metros aproximadamente visibles entre sí. Luego se realizó el levantamiento de la franja de diseño misma que tendrá su base en la poligonal anteriormente indicada y siguiendo la línea de trazo definido en el recorrido inicial, este trabajo se realizó levantando puntos en franjas transversales separadas longitudinalmente a cada 20 metros cuando el terreno sea llano y no presente grandes ondulaciones y pendientes fuertes y caso contrario a cada 10 metros, donde la franja levantada tendrá una faja aproximada de 40 metros considerando 20 metros a cada lado del eje de línea de trazo definido. Es indispensable no tomar en cuenta el levantamiento de puntos obligados que pudieran existir.

Con el estudio topográfico se localizarán también los yacimientos de préstamo o fuentes de material para ser empleados en la construcción de los terraplenes, capa de rodadura y obras de arte.

Estudio topográfico del terreno de la alternativa seleccionada nos permitirá realizar todos los diseños inherentes al proyecto, y éstos finalmente se los presentará en planos a escalas adecuadamente seleccionados.

2.4.1.2. Trabajo de gabinete

Una vez determinado el análisis de campo, se continuó con la reproducción del terreno levantando de manera digital en una computadora, a través de un software (AutoCAD Civil 3D) y se logró así la reproducción de las curvas de nivel del terreno y la modelación virtual de la superficie del campo en el ordenador. Para esto se utilizaron los datos de la estación total en forma de coordenadas cartesianas (X, Y, Z Norte, Este y Altura); cada uno de estos datos fueron importantes para que el ordenador pueda modelar la superficie virtual. Con los datos de cada punto, se reprodujo un mapa gráfico. Todos los puntos extraídos en el levantamiento topográfico, provenientes del trabajo desarrollado con la estación total fueron ordenados previamente a la aplicación del software y fueron clasificados en Excel para la correcta modelación.

Los equipos que se utilizarón para el levantamiento topográfico fueron: Estación Total, primas, GPS, cinta métrica, libreta, estacas, combo, pintura, etc.

De un total de 1686 puntos levantados, y debido a la gran cantidad de los mismos, a continuación, tenemos el siguiente cuadro que nos muestra un resumen de los 23 BMs.

También se hace notar que el detalle de los puntos topográficos levantados con sus coordenadas geográficas (Norte, Este y Elevación), se encuentra en ANEXOS 1 ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

Cuadro 5. Resumen de los BMs

N°	Punto N°	Norte	Este	Elevación	Descripción
1	1	7615599.652	380964.675	1195.061	BM-1
2	80	7615371.86	381134.629	1197.407	BM-2
3	142	7615329.881	381366.603	1209.784	BM-3
4	247	7615353.298	381630.912	1220.506	BM-4
5	311	7615376.229	381813.344	1232.087	BM-5
6	394	7615337.056	381898.668	1250.345	BM-6
7	439	7615371.469	382032.174	1249.532	BM-7
8	523	7615556.434	382323.191	1259.362	BM-8
9	617	7615495.003	382615.847	1222.781	BM-9
10	673	7615696.44	382695.544	1194.684	BM-10
11	787	7615828.699	383017.858	1173.36	BM-11
12	873	7615904.757	383311.987	1168.639	BM-12
13	931	7616128.621	383348.748	1182.137	BM-13
14	1013	7616453.611	383420.882	1185.844	BM-14
15	1127	7616809.881	383561.877	1177.954	BM-15
16	1227	7617152.112	383481.823	1155.322	BM-16
17	1289	7617404.988	383574.458	1152.549	BM-17
18	1345	7617622.242	383412.031	1186.007	BM-18
19	1416	7617928.238	383603.086	1206.142	BM-19
20	1448	7618069.161	383575.135	1179.104	BM-20
21	1510	7618247.603	383733.998	1162.291	BM-21
22	1546	7618399.105	383762.684	1170.063	BM-22
23	1631	7618679.549	383799.348	1147.279	BM-23

Fuente: Elaboración propia

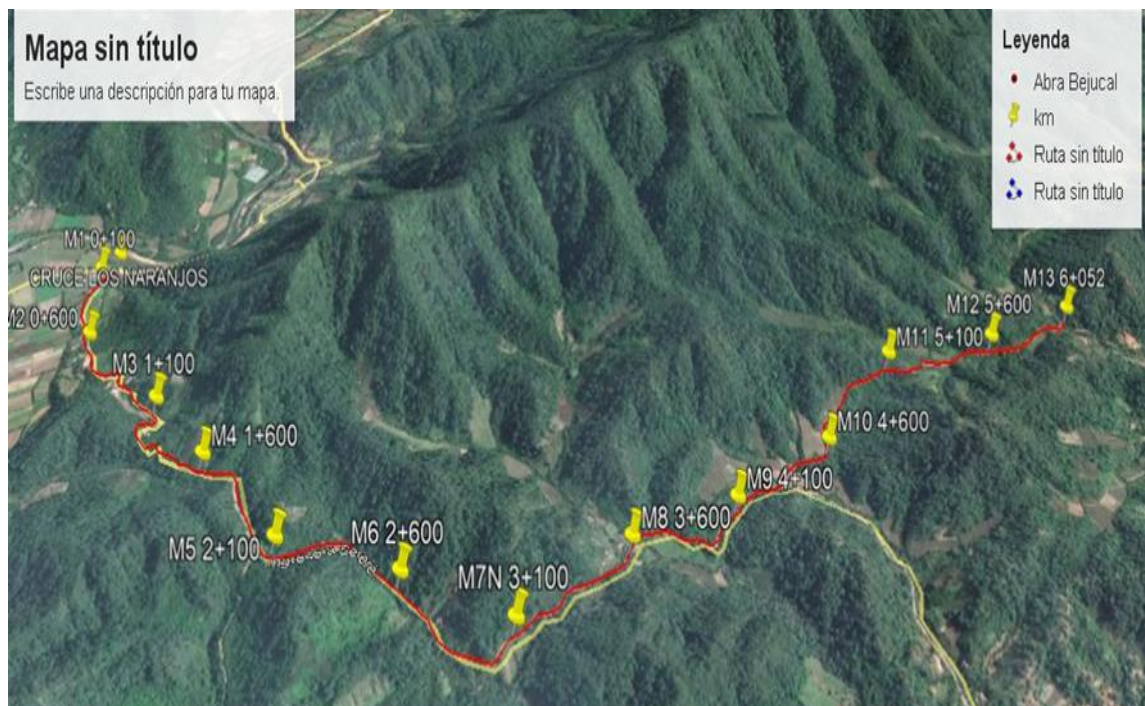
2.4.2. Estudio geotécnico

El estudio geotécnico pretende la investigación y determinación de la ubicación, calidad y sus características físico - mecánicas de los materiales que conforman la sub rasante Y bancos de préstamo, para el uso en los diferentes elementos estructurales como ser terraplenes, subrasante, subbase, base y su uso como agregados para el pavimento bituminoso y actividades complementarias como son los hormigones, garantizando que estos materiales sean los más adecuados para cada una de las obras que interviene en la ejecución de la carretera. La investigación geotécnica, se sub dividió en tres etapas las cuales se describen a continuación.

2.4.2.1. Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en la excavación manual de 13 muestras de suelo a lo largo del tramo donde se emplazará la futura carretera, con una distancia promedio entre ellos de 500 m. aproximadamente, con una profundidad mínima de 60 cm, obteniendo de cada muestra una cantidad aproximada de muestra de 50 Kg, con la finalidad de conocer la distribución de los diferentes materiales determinados en cada punto de exploración de la subrasante.

Figura 5. Puntos de muestreo



Fuente: Google earth

Figura 6. Extracción de muestras de suelo



Fuente: Elaboración propia

2.4.2.2. Trabajo de laboratorio

Una vez que se recolectaron las distintas muestras en las cantidades necesarias, se procedió a efectuar con cada una de ellas los siguientes ensayos de laboratorio: Ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg, Ensayo de Compactación T-180 y Ensayos de Capacidad de Soporte CBR. El procedimiento que se siguió con cada uno de los ensayos anteriormente mencionados fue de la siguiente:

Ensayo de granulometría

Este análisis del suelo se desarrolló por medio de un juego de tamices, que tiene un tamaño graduado instituido por las normas AASHTO. Primero se estableció la cantidad de material necesario de cada muestra para efectuar el presente ensayo, en función al tipo de material que representaba cada muestra; es decir si el material estaba compuesto por partículas finas o gruesas.

Para aquellas muestras extraídas a lo largo de la vía, que estaban compuestas por material fino fue necesario ejecutar el “método del lavado”; que posteriormente se dejó reposar en agua hasta que dichas muestras se saturaran completamente, se dejó saturar el material en un recipiente de metal durante un lapso de 24 horas.

Una vez saturado se colocó el material en el tamiz N°200 y con ayuda de agua se empezó a lavar el suelo, hasta que el agua pasante tomaba aspecto más claro. El material retenido en el tamiz N°200 se introdujo en un recipiente y se procedió a secar el mismo, para posteriormente re tamizar por las mallas, N°30, N°40 y N°200. A continuación, se pesó

el material retenido en cada tamiz y de esta manera, se desarrolló el trabajo correspondiente al gabinete.

Para los materiales compuestos por material grueso y fino se aplicó el “método general” para su caracterización, el suelo es sometido previamente a un cuarteado con la finalidad de que la muestra sea representativa, obteniendo aproximadamente 5000 gramos o más de este suelo. Luego de tener la muestra preparada y pesada, se procedió al tamizado de la parte gruesa del material con los siguientes tamices: 2 1/2”, 2”, 1 1/2”, 1”, 3/4”, 3/8”, N°4, N°10. Mientras que el material fino del suelo paso por los siguiente tamices N°30 N°40 y N°200. Se ajitaron los tamices manualmente por un tiempo de 15 minutos y posteriormente se realizó el pesaje del material retenido en cada malla y lo que pasó en el tamiz N°200.

Figura 7. Ensayo de granulometría



Fuente: Elaboración propia

Límites de Atterberg

Se ensayaron las muestras que pasaron por el tamiz N°40, en una cantidad de 100 gramos aproximadamente, desarrollando previamente una desintegración de los granos del suelo debido a la presencia de terrones.

Para la determinación del Límite Líquido, se aplicó el aparato de Casagrande sobre una superficie plana, limpia y segura. Posteriormente, se colocó el material ya preparado, de manera horizontal en el aparato y se realizó la ranura de manera firme en una sola pasada, para luego accionar la copa de Casagrande a un ritmo de dos golpes por segundo. Luego con ayuda de la espátula se realizó dos cortes de manera perpendicular a la ranura, para extraer la porción de suelo entre los cortes y proceder a depositarla en una de las cápsulas anteriormente pesadas e identificadas.

Se pesó el suelo húmedo más la cápsula y se introdujo en el horno a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, para luego extraer del horno y pesar la muestra seca más la cápsula y registrar dichos datos en las planillas.

Para la determinación del Límite Plástico, se manipuló con las manos el material anteriormente preparado y se procedió a amasarlo, hasta que se logró manipularlo de manera plástica.

Este material se empleó en la formación de rollitos, rodándolos sobre una base de vidrio, hasta que los mismos alcanzaron un diámetro aproximado de tres milímetros y sobre estos se percibió pequeñas rajaduras en ese diámetro. Una vez que los rollitos presentaron agrietamientos a los tres milímetros, se los cortó en pequeños trozos y los mismos fueron introducidos en cápsulas, para registrar su peso húmedo más cápsula, las cuales después fueron introducidas en el horno a una temperatura de 105°C en un lapso de 24 horas para su posterior pesaje del suelo seco más cápsula y por último se registraron estos datos en una planilla.

Índice de plasticidad (IP). Es la diferencia entre límite líquido y el límite plástico.

Figura 8. Ensayo de limite líquido



Fuente: Elaboración propia

Ensayo de compactación T-180.

Para la compactación se utilizó el proctor T-180 para lo cual se tomaron 3 muestras que fueron tamizadas por el tamiz N° ¾ y N° 4 para luego compensar con el retenido del N° 4, luego se humedeció la muestra y se colocó en la probeta normalizada para este ensayo en 5 capas, se procedió a compactar con un martillo también normalizado en una cantidad

de 56 golpes cada capa, se desarmó la probeta y se extrajo la muestra del corazón de la misma, se pesó y se puso al horno, luego se fue incrementando un pequeño porcentaje de agua a cada muestra para ir cambiando su densidad de acuerdo a sus cambios de humedad, todo este proceso fue anotado en planilla para este tipo de ensayo.

Derivando la ecuación del gráfico y despejando “x” que es CHO (contenido de humedad óptimo) se obtiene este valor, con el CHO reemplazamos en la ecuación sin derivar y tenemos la densidad máxima.

Figura 9. Ensayo de compactación



Fuente: Elaboración propia

Ensayo de capacidad soporte CBR.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material.

Se realizó el tamizado por el tamiz N° ¾ y N°4 para luego compensar con el retenido del N° 4, para el cálculo del CBR se confeccionaron 3 probetas, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 12, 25 y 56 golpes).

Antes de determinar la resistencia a la penetración, se saturaron las probetas durante 96 horas para simular las condiciones de trabajo más desfavorables y para determinar su posible expansión.

Figura 10. Ensayo de CBR



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el siguiente cuadro con el número de ensayos realizados en el Laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Cuadro 6. Ensayos realizados en laboratorio

Ensayo	Ni
Granulometría	13
Limite liquido	13
Límite plástico	13
Contenido de humedad	13
Compactación proctor	13
CBR	13
Total	78

Fuente: Elaboración propia

2.4.2.3. Trabajo de gabinete

Fundamentalmente, el trabajo de gabinete consistió en el cálculo de las magnitudes de los diferentes parámetros geotécnicos, establecidos en las etapas anteriores de trabajo. La clasificación de los suelos, junto con los parámetros geotécnicos obtenidos será utilizada para el dimensionamiento de los diferentes estratos que constituye el paquete estructural del pavimento a diseñar.

Concluidos los ensayos de laboratorio y trabajo de gabinete se presenta el siguiente cuadro resumen de los ensayos realizados y también se hace notar que se puede apreciar el detalle de todos los ensayos para todas las muestras de los suelos en ANEXOS 2 ESTUDIO GEOTÉCNICO,

Cuadro 7. Resumen de los ensayos realizados en el laboratorio

Origen		Granulometría			Límites de Atterberg			Clasificación	Proctor		CBR	
N° de Muestra	Prog. (m)	N°10	N°40	N°200	LL	LP	IP	AASHTO	$\rho_{\text{máx}} \text{ gr/cm}^3$	CHO %	95%	100%
1	0+100	24.00	14.50	6.20	22	18	5	A-2-4(0)	1.96	7.81	17	24
2	0+600	87.60	75.00	52.90	24	21	3	A-4(4)	1.77	7.29	8	10
3	1+100	93.80	85.00	62.90	29	23	6	A-4(6)	1.95	4.88	8	9
4	1+600	76.00	53.80	43.70	20	12	8	A-4(2)	1.77	7.31	9	10
5	2+100	92.90	88.80	66.90	28	20	8	A-4(6)	1.77	7.31	9	11
6	2+600	75.40	62.10	36.50	21	16	4	A-4(0)	2.07	8.17	8	11
7	3+100	89.20	81.80	69.70	26	18	8	A-4(7)	1.95	7.01	7	8
8	3+600	61.60	49.10	36.90	24	16	9	A-4(0)	2.13	7.35	8	10
9	4+100	67.80	57.70	45.20	NP	NP	0	A-4(0)	2.04	7.68	7	11
10	4+600	75.00	59.10	39.60	18	13	6	A-4(1)	2.02	9.16	8	9
11	5+100	41.50	33.30	20.60	20	15	5	A-2-4(0)	2.07	7.65	18	25
12	5+600	98.20	93.50	67.30	28	20	8	A-4(7)	1.79	6.14	10	11
13	6+052	32.50	28.00	25.50	20	17	3	A-2-4(0)	2.04	8.48	15	22

Fuente: Elaboración propia

2.4.3. Estudio de tráfico

En el presente estudio se examina el tráfico como un componente muy significativo para el diseño de carreteras y caminos, por medio de una proyección del tráfico futuro de la zona del proyecto que nos permita determinar los espesores de cada capa que conforman un paquete estructural.

Para seleccionar la categoría que se debe dar a una determinada vía, es indispensable tener una acertada predicción de los volúmenes de demanda del tránsito.

A continuación, se describen los principales indicadores que intervendrá en el proceso de selección de la categoría de la vía.

Transito promedio diario anual (TPDA)

Representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la ruta en la sección considerada.

Clasificación por tipo de vehículo

Vehículos livianos: Automóviles, camionetas hasta 1.500 kg

Locomoción colectiva: Buses rurales e interurbanos

Camiones: Unidad simple para transporte de carga.

Camión con semirremolque o remolque: Unidad compuesta para transporte de carga.

Una vez clasificados los tipos de vehículos se puede dar un concepto de algunos tipos de tráfico, los cuales intervienen en el cálculo del tráfico total o también llamado tráfico promedio diario anual.

Metodología para el aforo de vehículos.

Los aforos de vehículos se efectuaron sobre el mismo camino a diseñar, de manera manual mediante las consideraciones más críticas las cuales serían los días hábiles como los días no hábiles, donde cada uno de esos días mencionados se realizó el aforamiento considerando la circulación de vehículos de (7:00 am - 7:00 pm).

El punto de conteo del flujo vehicular fue realizado en el cruce los naranjos, ya que es un lugar estratégico para el conteo de todo tipo de vehículo, porque es donde empieza la construcción de dicha carretera, para el aforo de vehículos se tomó en cuenta las horas








críticas de circulación, pero el aforo se realizó en todo el transcurso del día en las horas anteriormente mencionadas. Para dichos aforos de los vehículos se utilizaron diferentes equipos personales como ser: computadora personal, libretas de registro o planillas y bolígrafos o lapiceras.

2.4.3.1. Tráfico normal (TN)

Es el tráfico obtenido mediante los aforos realizados antes del estudio, el mismo que es el promedio volumétrico diario, llamado también TPD. Para el proyecto se estableció el comportamiento del flujo vehicular en función al tráfico promedio horario, para esto se empleó una relación porcentual sobre la estimación del tráfico promedio diario y así generar de este modo el tráfico normal para el diseño de la vía.

En el siguiente cuadro se muestran los datos del aforo realizado en el Cruce de Los Naranjos.

Cuadro 8. Aforos de vehículos de 7 días de un mes

Tipo de vehículo		Días (07:00 - 19:00)						
		lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo
Livianos		15	8	10	11	20	19	25
		8	4	5	9	12	16	21
		6	4	4	5	8	10	13
Mediano		14	11	10	10	15	15	18
Pesados		2	0	0	1	2	3	4
		0	0	0	0	0	1	1
		0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

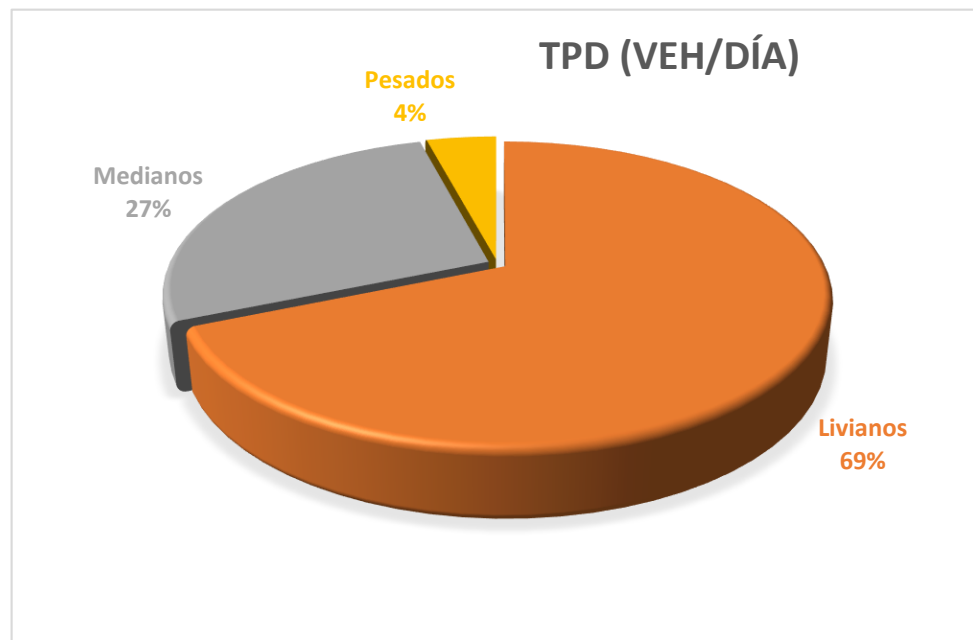
Con estos valores se obtiene el TPD que se presenta a continuación en el siguiente cuadro.

Cuadro 9. Tráfico promedio diario

Tipo de vehículo	TPD (veh/día)	% TPD
Livianos	33.00	69
Medianos	13.00	27
Pesados	2.00	4
Total	48	100.0

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1. Gráfico promedio diario



Fuente: Elaboración propia

2.4.3.2. Tráfico generado (TG)

El tráfico generado es aquel que se produce por las mejoras del proyecto. Puede ser de diferente magnitud.

a) Generado por el proyecto. Una mejor superficie de rodadura o geometría más plana y recta, puede lograr la atracción de volúmenes adicionales de tráfico.

b) Tráfico generado atraído o transferido de otros medios de transporte. Son aquellos volúmenes de tráfico adicionales que normalmente circulaban por otro medio de transporte (aéreo, férreo, fluvial), o aun de aquellos tramos carreteros que se conectan al nuevo proyecto.

c) Generación de Tráfico debido a un polo de desarrollo. Son aquellos volúmenes que se generan por la producción industrial o por las facilidades que ofrece la carretera al desarrollo ganadero, agrícola, industrial, etc.

d) Tráfico generado desviado. Generalmente se aplican estos conceptos a volúmenes vehiculares que circulan por otros tramos carreteros y que ahora son desviados hacia el nuevo proyecto.

Se prevé que el tráfico vehicular generado para el tramo será de 10%, el cual será aplicado a todo el tráfico normal considerándose como un valor aceptable ya que se trata de un camino que va a aumentar el flujo de vehículos a toda la zona.

Tráfico generado = 10 % (Tráfico normal).

2.4.3.3. Tráfico inducido (TI)

El tráfico inducido es el incremento sustancial en el tráfico que ocurre después de la apertura de una vía rápida o del mejoramiento de una vía existente.

Esto trae consigo que muchos automovilistas hagan viajes más largos para poder utilizar esta vía o que lleven a cabo viajes cortos con mayor frecuencia.

Para la determinación de este tipo de tráfico se asume un valor del 5% del Tráfico normal.

Tráfico inducido = 5 % (Tráfico normal).



2.4.3.4. Tránsito futuro (TF)

El pronóstico del volumen de tránsito futuro, referido al TPDA del proyecto, deberá basarse en los incrementos de tránsito que se espera que utilicen el camino mejorado. Lo que puede influir en el crecimiento del tránsito normal, el generado y el tráfico inducido.

$$TF = TN + TG + TI$$

El siguiente cuadro muestra el tráfico total, el cual no es más que la suma del tráfico normal, el inducido y el generado.

Cuadro 10. Tráfico futuro

AÑO	Nº	L I V I A N O S	M E D I A N O S	P E S A D O S	TOTAL
					
NORMAL+GENERADO+INDUCIDO					
2018	0	38	15	2	55
2019	1	41	16	2	59
2020	2	43	16	2	61
2021	3	44	18	2	64
2022	4	46	19	2	67
2023	5	48	20	3	71
2024	6	52	21	3	76
2025	7	54	22	3	79
2026	8	56	22	3	81
2027	9	60	23	3	86
2028	10	64	25	3	92
2029	11	67	26	3	96
2030	12	69	27	4	100
2031	13	73	29	4	106
2032	14	77	30	4	111
2033	15	81	32	4	117
2034	16	85	33	4	122
2035	17	90	36	6	132
2036	18	94	37	6	137
2037	19	99	39	6	144
2038	20	105	42	6	153

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos resultados, se obtiene el TPDA con 20 años de tráfico proyectado para el camino, como se aprecia en el siguiente cuadro.

Cuadro 11. TPDA proyectado para 20 año

Tipo de vehículo	TPDA (veh/día)	Porcentaje (%) TPD
Livianos	105	68.6
Medianos	42	27.5
Pesados	6	3.9
Total	153	100.0

Fuente: Elaboración propia

El detalle de cálculo completo del estudio de tráfico y proyección de tráfico futuro, inducido y generado se encuentra en ANEXO 3 ESTUDIO DE TRÁFICO.

2.4.4. Estudio hidrológico

En el presente acápite trata el estudio hidrológico del tramo Cruce Los Naranjos – Cruce Serere Limal, la parte correspondiente al análisis pluviométrico y determinación de las intensidades de lluvia para distintos periodos de retorno y la intensidad en los 10 min de máxima concentración para el diseño hidráulico de las obras de drenaje de carreteras.

La determinación de las curvas de intensidad - duración - frecuencia se basa en registros continuos de las lluvias a lo largo de un período de registro relativamente largo como para poder realizar un análisis estadístico de las intensidades de lluvia para diferentes intervalos de tiempo o distintos periodos de retorno.

Para realizar el análisis pluviométrico, viendo que no hay ninguna estación pluviométrica en toda el área del proyecto, se tomó la decisión de utilizar las estaciones más cercanas a dicho proyecto, cuya estación vendría a ser la Estación de Ente Ríos (Pajonal), la información disponible fue la siguiente:

Registro histórico de precipitaciones medias mensuales.

Registro histórico de precipitaciones medias anuales.

Registro histórico de precipitaciones máximas en 24 horas.

2.4.4.1. Determinación de parámetros estadísticos

Los parámetros estadísticos para el análisis hidrológico son los siguientes:

Obtención de la media

$$\bar{hd} = \frac{\sum_i^n hd_i}{n}$$

Cálculo de la moda

$$Ed = \bar{hd} - 0.45 * sd$$

El valor modal fue calculado para cada una de las series de cada estación estudiada, a su vez los valores obtenidos fueron promediados para fines de una caracterización hidrológica de la zona en estudio.

Obtención de desviación estándar

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_i^n (h_i - \bar{hd})^2}{n - 1}}$$

Al obtener los valores del parámetro característico dentro del rango aceptable (0.5 y 1.5), no fue necesario depurar los datos que fueron tomados en cuenta dentro del proceso estadístico.

2.4.4.2. Determinación de parámetros característicos

Este parámetro fue calculado para la Estación Entre Ríos, estación analizada para las series de valores máximos en 24 horas.

Este parámetro caracteriza a una zona de igual clima, es decir debe ser único y constante para el área de influencia hidrológica de la estación. Si el valor de kd es mayor que 1.5, es necesario reprocesar la serie depurando los datos que causan el incremento de kd.

$$kd = \frac{Sd}{0.557 * Ed}$$

Donde:

Kd = Característica.

Sd = Desviación típica.

Ed = Moda.

Moda ponderada

$$E_{dp} = \frac{K_{t1} * N_1 + K_{t2} * N_2}{N_1 + N_2}$$

Donde:

Ed = Moda de cada estación (mm).

N = Número de datos de cada estación.

Característica ponderada

$$k_{dp} = \frac{K_{t1} * N_1 + k_{t2} * N_2}{N_1 + N_2}$$

Donde:

K = Característica de cada estación.

N = Número de datos de cada estación.

La metodología del estudio hidrológico y drenaje considera la evaluación de las variables hidrológicas que se pueden obtener de la zona, a partir del cual se propone el sistema de drenaje.

A continuación, se muestra el siguiente cuadro con los distintos parámetros tanto estadísticos como característicos.

Cuadro 12. Parámetros estadísticos y característicos

Estación de estudio	Entre Ríos
Media (hd)	85.07
Desviación (sd)	22.69
Moda (Ed)	74.86
Característica (Kd)	0.54
Número de datos	22

Fuente: Elaboración propia

2.4.4.3. Cálculo de altura de lluvia máxima diaria y horaria

Para el cómputo de las precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno se utiliza la Ley de Gumbell.

$$h_{dT} = E_{dp}(1 + K_{dp} * \log T)$$

Donde:

hdT = Lluvia máxima diaria para un periodo de retorno (mm).

Ed = Moda (mm).

Kd = Característica de la distribución.

T = Periodo de retorno (años).

Cálculo de alturas de lluvia máxima diaria para distintos periodos de retorno.

Cuadro 13. Altura de lluvia máxima diaria

T (años)	hdT (mm)
5	103.33
10	115.60
25	131.81
50	144.07
100	156.33
500	184.80

Fuente: Elaboración propia

Se emplea la siguiente fórmula para el cálculo de las alturas de precipitación máxima horaria:

$$h_{tT} = h_{dT} * \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}$$

Donde:

htT = Altura de lluvia máxima en un determinado tiempo.

t = Tiempo de duración de la lluvia.

α = tiempo de duración máxima para una lluvia en esa cuenca.

β = Característica hidrológica fisiológica de la cuenca.

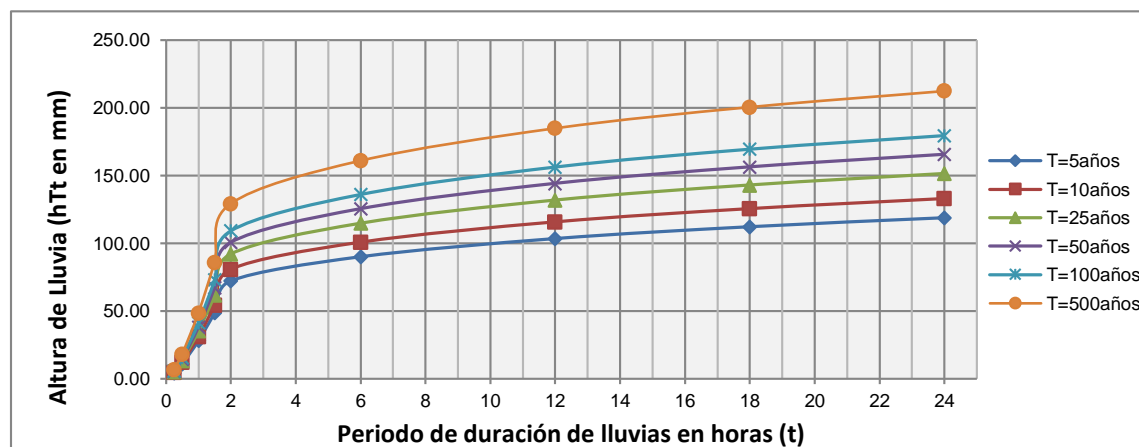
Calculo de alturas de lluvias máximas inferiores a las 24 horas y mayores a 2 horas.

Cuadro 14. Alturas de lluvia máxima inferiores a 24 horas

Periodo de retorno (años)	Periodos de duración de lluvias en horas (t)								
	0.25	0.5	1	1.5	2	6	12	18	24
5	4.25	10.93	28.09	48.80	72.21	89.96	103.33	112.06	118.70
10	4.64	12.03	31.18	54.42	80.78	100.63	115.60	125.36	132.78
25	5.15	13.47	35.23	61.81	92.11	114.74	131.81	142.94	151.41
50	5.53	14.54	38.26	67.38	100.68	125.42	144.07	156.24	165.49
100	5.90	15.60	41.28	72.95	109.25	136.09	156.33	169.54	179.58
500	6.73	18.02	48.24	85.81	129.15	160.88	184.80	200.42	212.29

Fuente: Elaboración Propia

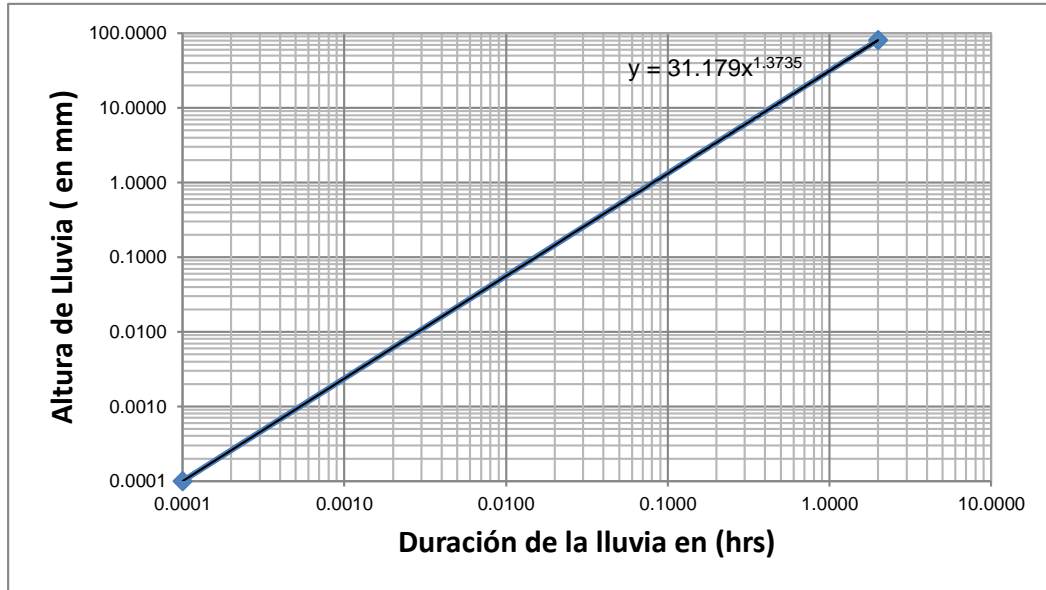
Gráfico 2. Alturas de lluvia máxima



Fuente: Elaboración propia

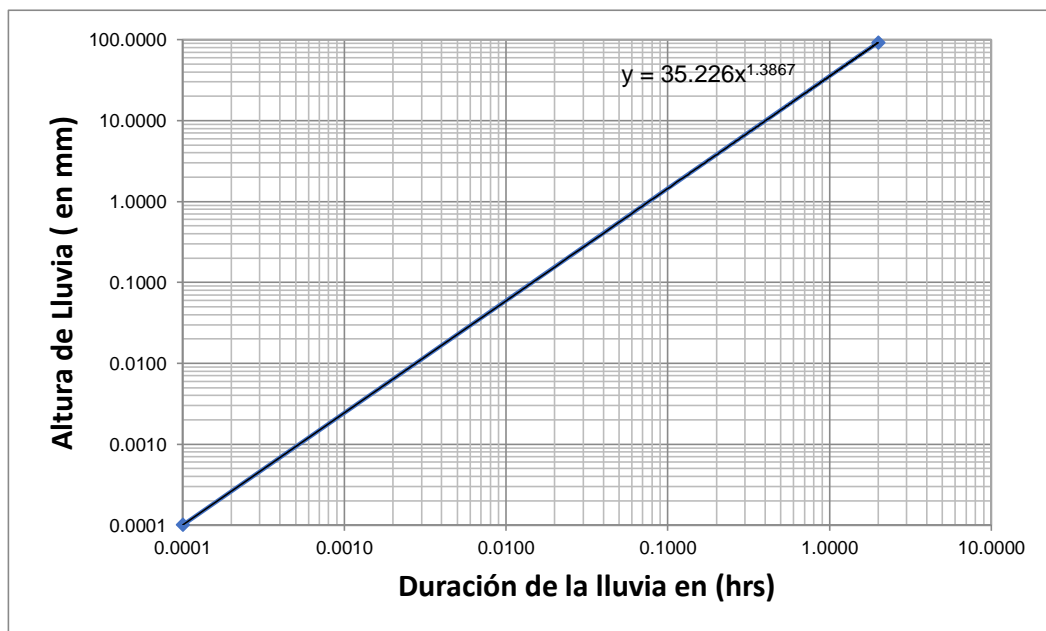
Para lluvias menores a las 2 horas se empleó el método gráfico para los distintos periodos de retorno.

Gráfico 3. Método gráfico de lluvia menores a 2 horas, para T = 10 años



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4. Método gráfico de lluvia menores a 2 horas, para T = 25 años



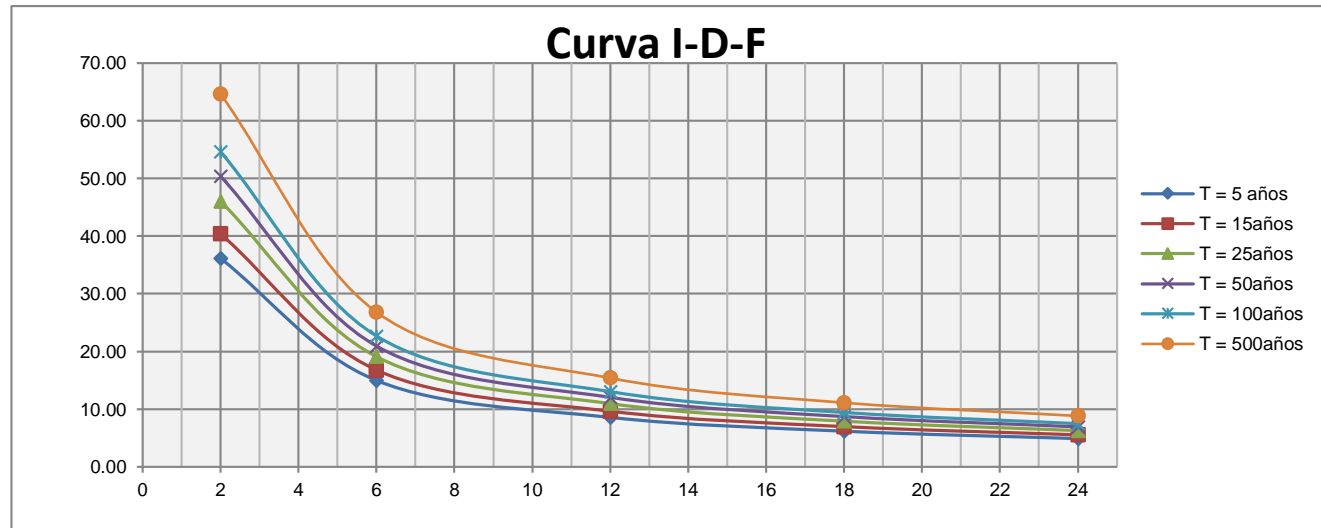
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15. Intensidades de precipitación (mm/h)

Periodo de retorno (años)	Intensidades de lluvias								
	0.25	0.5	1	1.5	2	6	12	18	24
5	17.00	21.86	28.09	32.53	36.11	14.99	8.61	6.23	4.95
10	18.58	24.07	31.18	36.28	40.39	16.77	9.63	6.96	5.53
25	20.61	26.94	35.23	41.21	46.05	19.12	10.98	7.94	6.31
50	22.11	29.09	38.26	44.92	50.34	20.90	12.01	8.68	6.90
100	23.58	31.20	41.28	48.63	54.62	22.68	13.03	9.42	7.48
500	26.92	36.03	48.24	57.21	64.57	26.81	15.40	11.13	8.85

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. Curvas intensidad duración y frecuencia



Fuente: Elaboración propia

2.4.4.4. Cálculo de la intensidad máxima

La intensidad de la lluvia de diseño corresponde a aquella de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y de la frecuencia o período de retorno seleccionado para el diseño de la obra en cuestión.

Con los datos de precipitaciones máximas diarias, obtenidas de la Estación Entre Ríos, correspondientes al periodo 1975 – 2004 se determinarán las curvas de intensidad - duración y frecuencia. El cálculo de la intensidad máxima se determina con la siguiente expresión:

$$i = \frac{h_{tr}}{t}$$

i = Intensidad máxima

hdt = Altura de lluvia máxima para distintos periodos de retorno

t = Tiempo de concentración (t = 0.167 hr)

El siguiente cuadro muestra las alturas de precipitación máxima y la intensidad de precipitación en los 10 minutos de máxima concentración para distintos periodos de retorno.

Cuadro 16. Intensidades máximas

"T" Periodo de retorno (años)	"htT" Altura de lluvia (mm)	"Imax" Intensidad máxima (mm/hr)
5	2.45	14.68
10	2.66	15.99
25	2.94	17.63
50	3.14	18.83
100	3.34	20.02
500	3.78	22.69

Fuente: Elaboración propia

2.5. Diseño geométrico

El diseño geométrico es la parte más importante del proyecto de una carretera estableciendo, en base a las condicionantes y factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto que supone, para satisfacer al máximo los objetivos de

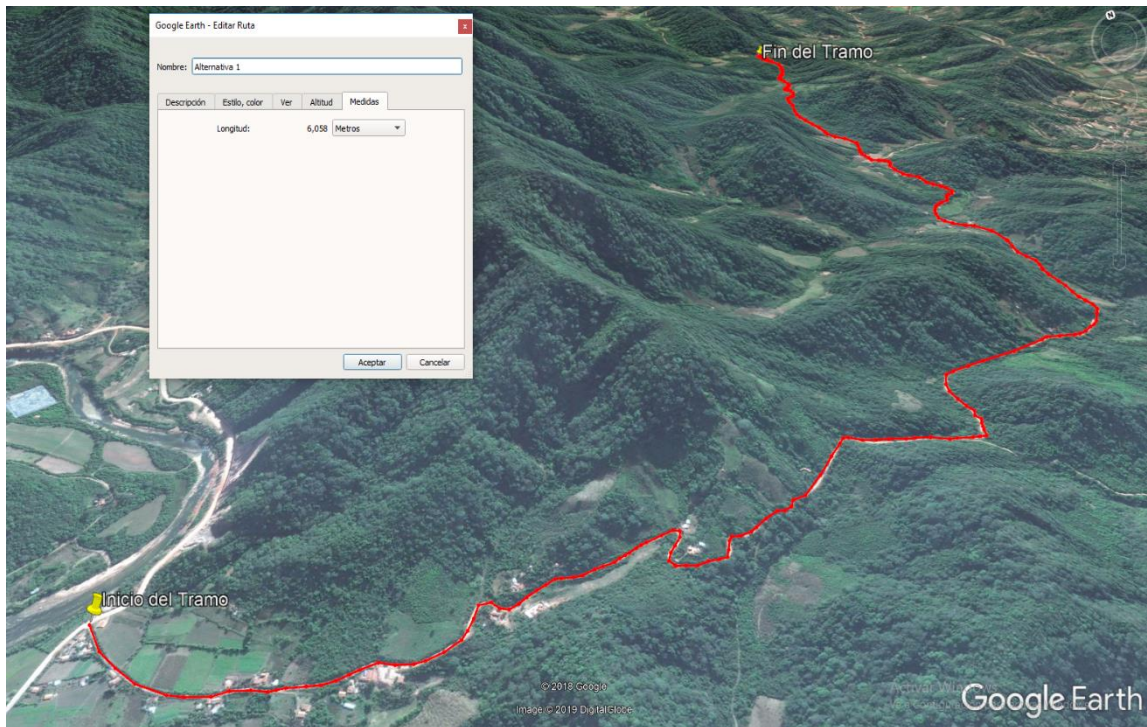
funcionalidad, seguridad, comodidad, integración en su entorno, armonía o estética, economía y elasticidad de la vía.

2.5.1. Análisis y elección de alternativas

El análisis y elección de alternativas consiste en escoger el trazo preliminar más adecuado, utilizando mapas o planos levantados. En nuestro caso se utilizaron imágenes de Google Earth realizando varios trazados preliminares para así obtener los planos sobre los cuales se puedan comparar y escoger el más conveniente.

Alternativa 1

Figura 11. Alineamiento de la alternativa 1



Fuente: Elaboración propia

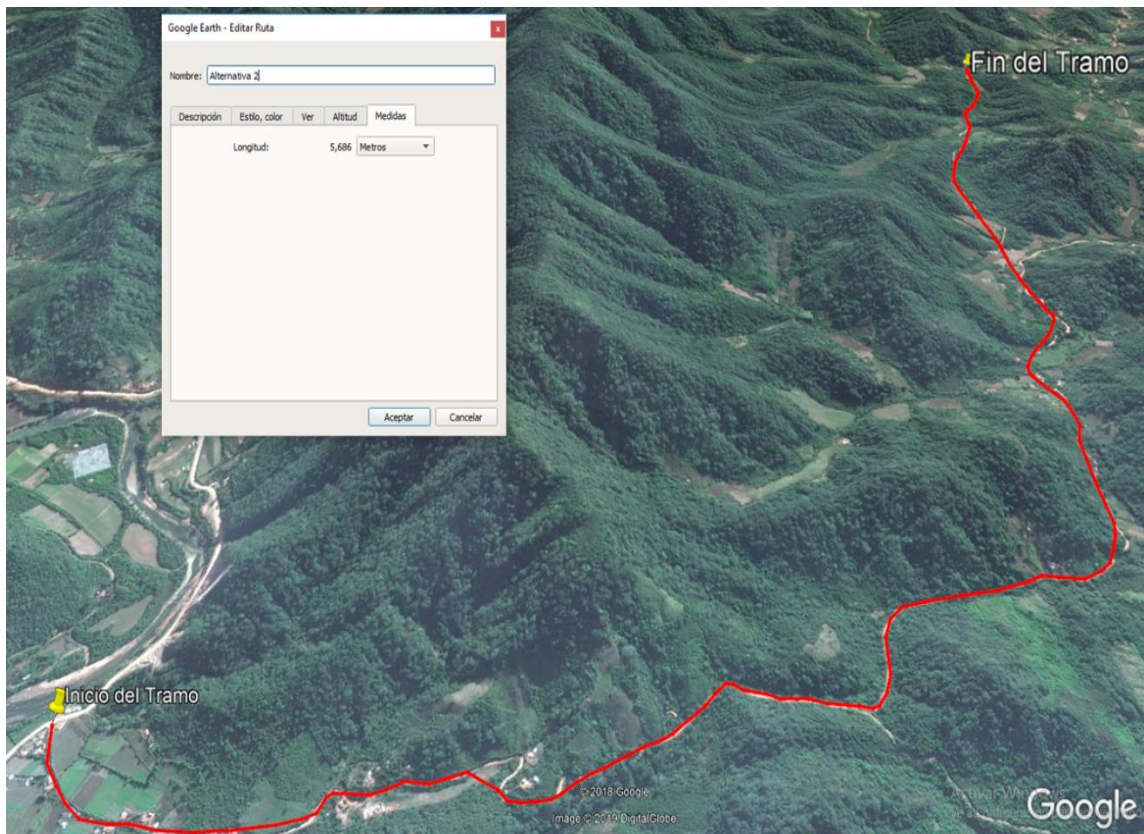
La alternativa 1 presenta una longitud aproximada de 6.058 km, el trazo realizado fue por el camino por donde hoy en día circulan los vehículos para dirigirse a la comunidad de serere limal, dicho camino cuenta solo con una capa de ripio en algunos tramos, mientras que por otro tramo solo está constituido por una capa de tierra, los cuales tienen mantenimiento según cronograma por parte de la Alcaldía Municipal de Entre Ríos.

Como el trazo de esta alternativa se realizó por el camino existente no se tendría problemas de indemnización con propietarios de los terrenos cercanos al camino, por que dicho

camino no invade terrenos privados por tal motivo el diseño de obras de las obras de arte (alcantarillas de cruce, alcantarillas de alivio y cunetas), se realizaran sin ningún problema. Para esta alternativa se hizo un perfil de elevación rápido y la cual nos mostró que la inclinación promedio fue de 6.4% y -6.6%.

Alternativa 2

Figura 12. Alineamiento de la alternativa 2



Fuente: Elaboración propia

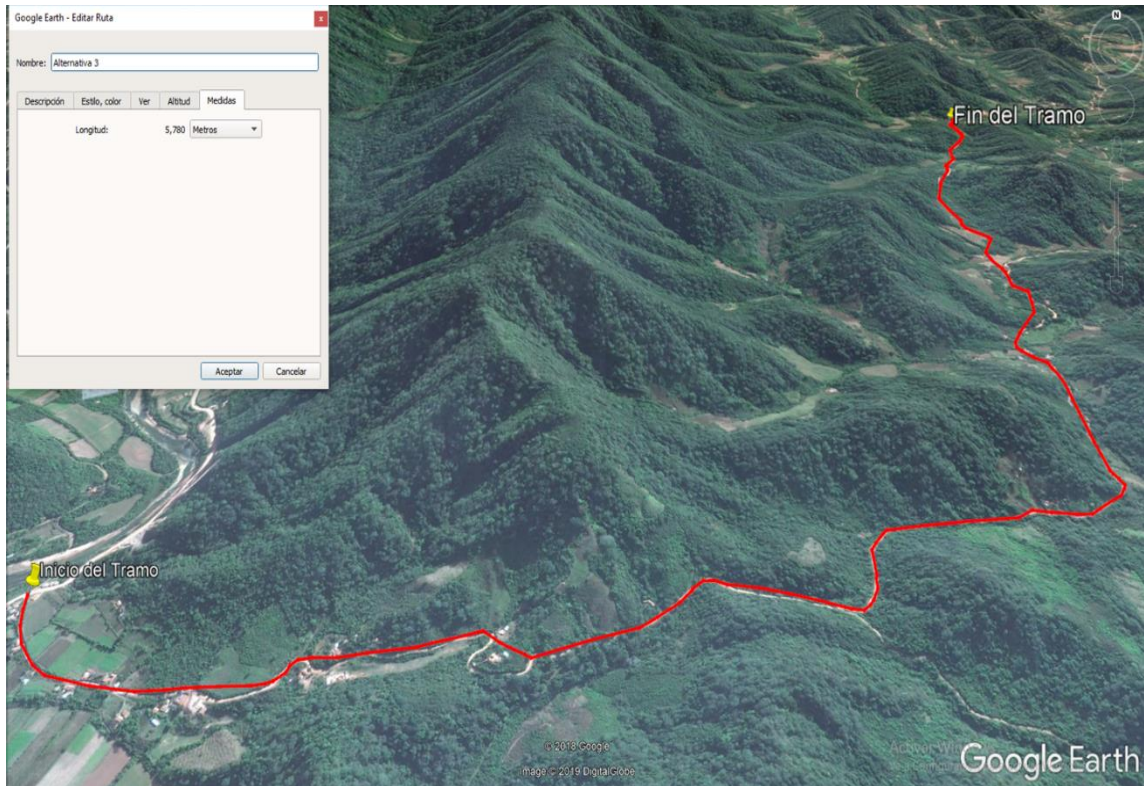
El alineamiento de la alternativa 2 tiene una longitud de 5.686 km, la misma que tiene un trazo que atraviesa por muchos terrenos privados, por lo que implicaría problemas al momento de realizar su construcción, a pesar que este tramo sería un beneficio para todos estos comunarios, ya que con una carretera nueva estos podrán de manera más fácil sacar sus productos a centros de comercialización más cercanos.

A pesar que esta alternativa tiene la menor longitud que las otras dos, se hace notar que los movimientos de tierra de corte como de terraplén son mayores que las otras alternativas y esto implica un costo más elevado para la construcción. De igual manera que la

alternativa 1 se hizo un perfil de elevación rápido que nos dio una inclinación promedio de 5.7% y -7.3%.

Alternativa 3

Figura 13. Alineamiento de la alternativa 3



Fuente: Elaboración propia

Esta última alternativa su alineamiento tiene una longitud de 5.780 km, la cual es una alternativa muy viable ya que no atraviesa por terrenos privados, la cual solo se hizo un mejoramiento de la geometría del camino existente y a comparación de la alternativa 2 esta alternativa tiene mucho menos movimiento de tierra y haciendo un perfil de elevación rápido se pudo ver que la inclinación promedio es de 6.1% y -6.9%.

2.5.1.1. Alternativa de estudio

Al momento de ver o elegir alguna alternativa para este proyecto, se tomaron varios criterios, basados en las normas vigentes de carretera, criterios técnicos y económicos, pero siempre teniendo en cuenta que es un diseño de mejoramiento y en nuestro caso, el cual nos indica que el camino ya se encuentra trazado hace años, por lo tanto el camino

pasa por puntos estratégicos inamovibles (comunidades, viviendas, cruces, entre otros) por lo tanto se debe respetar en su gran mayoría el trazo inicial delimitado con algo muy importante que son los terrenos de cultivo que existen en toda la zona, los cuales no podrían ser tocados por que es propiedad privada de los comunarios, ya que es un sostén económicos para ellos. La longitud que se obtuvo en este trazado es de 5,780 km, de la alternativa 3, la cual fue elegida como mejor de las 3 alternativas presentadas, esta alternativa cuenta con las diferentes alcantarillas tanto de cruce como de alivio, el paquete estructural elegido es de pavimento flexible, ya que al momento de analizarla tendrá una gran influencia en la elección de esta alternativa.

Lo más importante en la elección de la alternativa es que cumpla con su propósito una vez esté construida, que sea cómoda, segura para todos los conductores que usaran esta vía, también para los comunarios, agricultores, para realizar su labor productiva de los diferentes productos que se generan en la zona, durante toda la vida útil de la carretera y especialmente en las épocas de lluvia.

2.5.2. Sistema de clasificación

La clasificación para diseño consulta seis categorías divididas en dos grupos, ellas son:

Carreteras: Autopistas, Autorrutas y Primarias

Caminos: Colectores, Locales y de Desarrollo

Cada categoría se subdivide según las velocidades de proyecto consideradas al interior de la categoría. Las Vp más altas corresponden a trazados en terrenos llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terreno montañoso o cuyo extorno presenta limitaciones severas para el trazado.

Terreno montañoso. Está constituido por cordones montañosos o “cuestas”, en las cuales el trazado salva desniveles considerables en términos absolutos. La rasante del proyecto presenta pendientes sostenidas de 4 a 9%, según la Categoría del Camino, ya sea subiendo o bajando. La planta está controlada por el relieve del terreno (Puntillas, laderas de fuerte inclinación transversal, quebradas profundas, etc.) y también por el desnivel a salvar, que en oportunidades puede obligar al uso de curvas de retorno. En consecuencia, el empleo de elementos de características mínimas será frecuente y obligado.

Tabla 1. Clasificación funcional para el diseño de carreteras y caminos rurales

Categoría		Sección transversal	N° calzadas	Velocidad de proyecto (km/h)
		N° carriles		
Autopista	(O)	4 + UD	2	120-100-80
Autoruta	(I.A)	4 + UD	2	100-90-80
Primario	(I.B)	4+ UD	2	100-90-80
		2 BD	1	100-90-80
Colector	(II)	4+ UD	2	80-70-60
		2BD	1	80-70-60
Local	(III)	2BD	1	70-60-50-40
Desarrollo	(IV)	2BD	1	50-40-30

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

-UD: Unidireccional

(n) Número total de carriles

-BD: Bidireccional

-xx Velocidad de proyecto (km/h)

La definición conceptual de las categorías se presenta en los siguientes literales y un resumen integrado con la funcionalidad de la vía:

Camino local (III)

Son caminos que se conectan a los caminos colectores. Están destinados a dar servicio preferentemente a la propiedad adyacente. Son pertinentes las ciclo vías.

La sección transversal prevista consulta dos carriles bidireccionales de las dimensiones especificadas y las velocidades de proyecto consideradas son:

Terreno llano a ondulado medio 70 km/h

Terreno ondulado fuerte 60 km/h

Terreno montañoso 50 y 40 km/h

2.5.3. Parámetros de diseño geométrico

2.5.3.1. Categoría de la vía

El presente proyecto, está basado en las normas de diseño correspondientes a la **Categoría Camino Local**, teniendo en cuenta la cantidad de tráfico proyectado y principalmente la topografía (Ondulado Fuerte a Montañoso), al ser una carretera de Red Departamental que recoge tránsito de vehículos de carreteras de orden Municipal.

2.5.3.2. Velocidad de proyecto (V_p)

Es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, elementos que sólo podrán ser empleados en la medida que estén precedidos por otros (en ambos sentidos del tránsito), que anticipen al usuario que se está entrando a un tramo de características geométricas mínimas, el que además deberá estar debidamente señalizado. Esta velocidad se emplea para efectos de la clasificación funcional para diseño, a fin de indicar el estándar global asociado a la carretera.

De acuerdo a la clasificación del camino se adoptarán las velocidades recomendadas por la norma la cual se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Velocidad de proyecto

Categoría		Velocidades de proyecto (km/h)			Código tipo
		Llano a ondulado medio	Ondulado fuerte	Montañoso	
Autopista	(O)	120	100	80	A (n) - xx
Autoruta	(I.A)	100	90	80	AR (n) - xx
Primario	(I.B)	100	90	80	P (n) - xx
		100	90	80	P (2) - xx
Colector	(II)	80	70	60	C (n) - xx
		80	70	60	C (2) - xx
Local	(III)	70	60	50 – (40)	L (2) - xx
Desarrollo		50	40	30	D - xx

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

$$V_p = 40 \text{ km/h.}$$

2.5.3.3. Códigos de clasificación

Los códigos de clasificación se emplean de acuerdo a lo siguiente:

La categoría de la carretera o camino se indica mediante la inicial del nombre que le corresponde, entre paréntesis se indica el número total de carriles, luego del guión se anota la velocidad de proyecto.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, el presente proyecto se tendrá el siguiente código de clasificación: (Camino Local de Dos Carriles y Velocidad de Proyecto de 40 Km/h).

L(2)-40.

2.5.4. Alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal o también llamado diseño planímetro, llegaría a ser el diseño en planta de la carretera con todas sus características, parámetros y componentes (eje principal, tipos de curva horizontal, peraltes, bermas, anchos de calzada y sobrecanchos).

2.5.4.1. Distancia de visibilidad

Una carretera o camino debe ser diseñada de manera tal que el conductor cuente siempre con una visibilidad suficiente como para ejecutar con seguridad las diversas maniobras a que se vea obligado o que decida efectuar.

En diseño se consideran dos distancias, la de visibilidad suficiente para detener el vehículo, y la necesaria para que un vehículo adelante a otro que viaje a una velocidad inferior, en el mismo sentido.

2.5.4.2. Distancia de visibilidad de frenado

Distancia de visibilidad de parada, es la mínima requerida para que se detenga un vehículo que viaja a la velocidad de diseño, antes de que alcance un objetivo inmóvil que se encuentra en su trayectoria.

Se considera obstáculo aquél de una altura igual o mayor a 0,20 m, estando situados los ojos del conductor a 1,10 m, sobre la rasante del eje de su carril de circulación.

La Distancia de Frenado sobre una alineación recta de pendiente uniforme, se calcula mediante la expresión:

$$Df = \frac{V * t}{3,6} + \frac{V^2}{254(f_1 + i)}$$

Donde:

Df = Distancia de frenado (m).

V = Velocidad de diseño (km/h).

t = Tiempo de percepción + reacción (s).

f = Coeficiente de fricción longitudinal entre el pavimento mojado y el neumático.

i = Pendiente longitudinal de la rasante en (m/m).

Tabla 3. Distancia mínima de frenado en horizontal (Df)

V	t	f _l	dt	Df	Df (m)	
(km/h)	(s)	-	(m)	(m)	dt+df	Adopt.
30	2	0,420	16,7	8,4	25,1	25
35	2					31
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38
45	2					44
50	2	0,410	27,8	24,0	51,8	52
55	2					60
60	2	0,460	33,3	35,5	68,8	70

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

2.5.4.3. Distancia de visibilidad de adelantamiento

La Distancia de Adelantamiento “Da”, equivale a la visibilidad mínima que requiere un conductor para adelantar a un vehículo que se desplaza a velocidad inferior a la de proyecto; esto es, para abandonar su Carril, sobrepasar el vehículo adelantado y retornar a su carril en forma segura, sin afectar la velocidad del vehículo adelantado ni la de un vehículo que se desplace en sentido contrario por el carril utilizado para el adelantamiento.

La línea visual considerada en este caso será aquella determinada por la altura de los ojos de uno de los conductores ($h_1 = 1,10$ m) en un extremo y la altura de un vehículo ($h_2 = 1,2$ m) en el otro. Para simplificar la verificación se considerará que al iniciarse la maniobra todos los vehículos que intervienen se sitúan en el eje de carril de circulación que les corresponde, según el sentido de avance.

En la siguiente tabla se muestra la distancia mínima de visibilidad de adelantamiento en función de la velocidad del proyecto.

Tabla 4. Distancia mínima de adelantamiento

Velocidad de proyecto (km/h)	Distancia mínima de adelantamiento (m)
30	180
40	240
50	300
60	370

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C

2.5.4.4. Longitud máxima en recta

Se procurará evitar longitudes en recta superiores a:

$$L_r (m) = 20 V_p (km/h)$$

Donde:

L_r = Largo en metros de la alineación recta.

V_p = Velocidad de proyecto de la carretera.

En caminos bidireccionales de dos carriles, a diferencia de lo que ocurre en carreteras unidireccionales, la necesidad de proveer secciones con visibilidad para adelantar justifica una mayor utilización de rectas importantes. Sin embargo, rectas de longitud comprendida entre $8V_p$ y $10V_p$, enlazadas por curvas cuya V_e sea mayor o igual que la V_{85} determinada cubren adecuadamente esta necesidad.

2.5.4.5. Longitud mínima en recta

Se debe distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distinto sentido o curvas en “S” de aquellas correspondientes a curvas en el mismo sentido.

a) Curvas en S.

Tramos rectos intermedios de mayor longitud, deberá alcanzar o superar los mínimos que se señalan en la siguiente tabla, los que responden a una mejor definición óptica del conjunto que ya no opera como una curva en “S” propiamente tal, ya están dados por:

$$L_r \text{ min} = 1,4 * V_p$$

Tabla 5. Longitud mínima entre curvas de distinto sentido

Vp (km/h)	40	50	60	70
Lr (m)	56	70	84	98

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

b) Tramo recto entre curvas en el mismo sentido.

Por condiciones de guiado óptico es necesario evitar las rectas excesivamente cortas entre curvas en el mismo sentido, en especial en Terreno Llano y Ondulado Suave con velocidades de proyecto medias y altas.

Tabla 6. Longitud mínima entre curvas del mismo sentido

Vp (km/h)	30	40	50	60	70
Terreno llano y ondulado	-	110/55	140/70	170/85	195/98
Terreno montañoso	25	55/30	70/40	85/50	98/65

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

Para longitudes de la recta intermedia menores o iguales que los mínimos deseables, se mantendrá en la recta un peralte mínimo igual al bombeo que le corresponde a la carretera o camino (2; 2,5 ó 3%).

2.5.5. Curvas circulares

Las curvas circulares son aquellas que sirven para enlazar tangentes o rectas con un sector de la circunferencia definida por una radio de curvatura y por un ángulo de deflexión entre las curvas circulares tenemos tres tipos que son curvas circulares simples, compuestas e inversas.

2.5.5.1. Elementos de la curva circular

En la siguiente figura se ilustran los diversos elementos asociados a una curva circular simple. La simbología normalizada que se define a continuación deberá ser respetada por el proyectista.

Las medidas angulares se expresan en grados centesimales (g). Los elementos de la curva circular son los siguientes:

V_n = Vértice, punto de intersección de dos alineaciones consecutivas del trazado.

α = Ángulo entre dos alineaciones, medido a partir de la alineación de entrada, en el sentido de los punteros del reloj, hasta la alineación de salida.

ω = Ángulo de deflexión entre ambas alineaciones, que se repite como ángulo del centro subtendido por el arco circular.

R = Radio de curvatura del arco de círculo (m).

T = Tangentes, distancias iguales entre el vértice y los puntos de tangencia del arco de círculo con las alineaciones de entrada y salida (m).

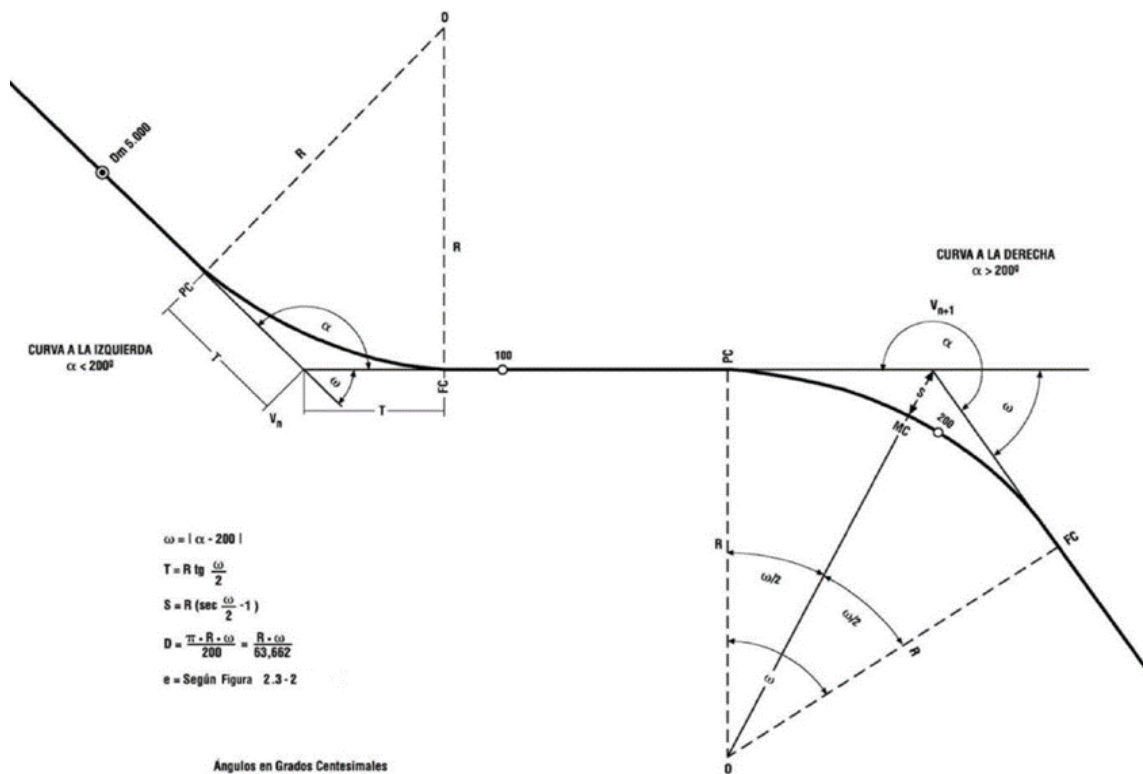
S = Bisectriz, distancia desde el vértice al punto medio, MC, del arco de círculo (m).

D = Desarrollo, longitud del arco de círculo entre los puntos de tangencia PC y FC.

e = Peralte, valor máximo de la inclinación transversal de la calzada, asociado al diseño de la curva (%).

E = Ensanche, sobrancho que pueden requerir las curvas para compensar el mayor ancho ocupado por un vehículo al describir una curva.

Figura 14. Elementos de la curva circular



Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

2.5.5.2. Radio mínimo absolutos

El radio mínimo ($R_{mín}$) es el valor límite de curvatura para una velocidad específica de acuerdo con el peralte máximo ($e_{máx}$) y el coeficiente de fricción transversal máxima (f).

El radio mínimo de la curva horizontal, calculado con el criterio de seguridad al deslizamiento, responde al modelo matemático:

$$R_{min} = \frac{Vp^2}{127(e_{max} + f)}$$

Dónde:

R_{min} = Radio mínimo absoluto en (m).

Vp = Velocidad del proyecto en (Km/h).

e_{max} = Peralte máximo correspondiente a la carretera o camino en (m/m).

f = Coeficiente de fricción transversal.

Tabla 7. Radios mínimos absolutos en curvas horizontales

Caminos colectores - locales - desarrollo			
Vp	$e_{máx}$	f	Rmín
(km/h)	(%)		(m)
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C

$$R_{min} = 50 \text{ m}$$

2.5.5.3. Coeficiente de fricción transversal

El coeficiente de fricción o de roce entre pavimento y neumático es por consiguiente, uno de los factores más importantes en la seguridad vial y su auscultación rutinaria debe ser parte primordial de cualquier sistema de gestión vial.

Tabla 8. Coeficiente de fricción transversal

Coeficiente	
Vp	f
(km/h)	-
30	0.215
40	0.198
50	0.182
60	0.165
70	0.149

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

$$f = 0.198$$

2.5.5.4. Peralte máximo

El peralte es la sobre elevación del carril exterior sobre el carril interior, para verificar la perpendicularidad de la resultante de fuerzas que actúan sobre el vehículo.

Por razones de homogeneidad, el peralte máximo adoptado debe ser mantenido a lo largo de un tramo considerable del trazado de la carretera, ya que ese valor servirá de base para la adopción de radios de curva circular superiores al mínimo, las que obviamente estarán dotadas de un peralte menor.

Tabla 9. Valores máximos para el peralte y fricción transversal

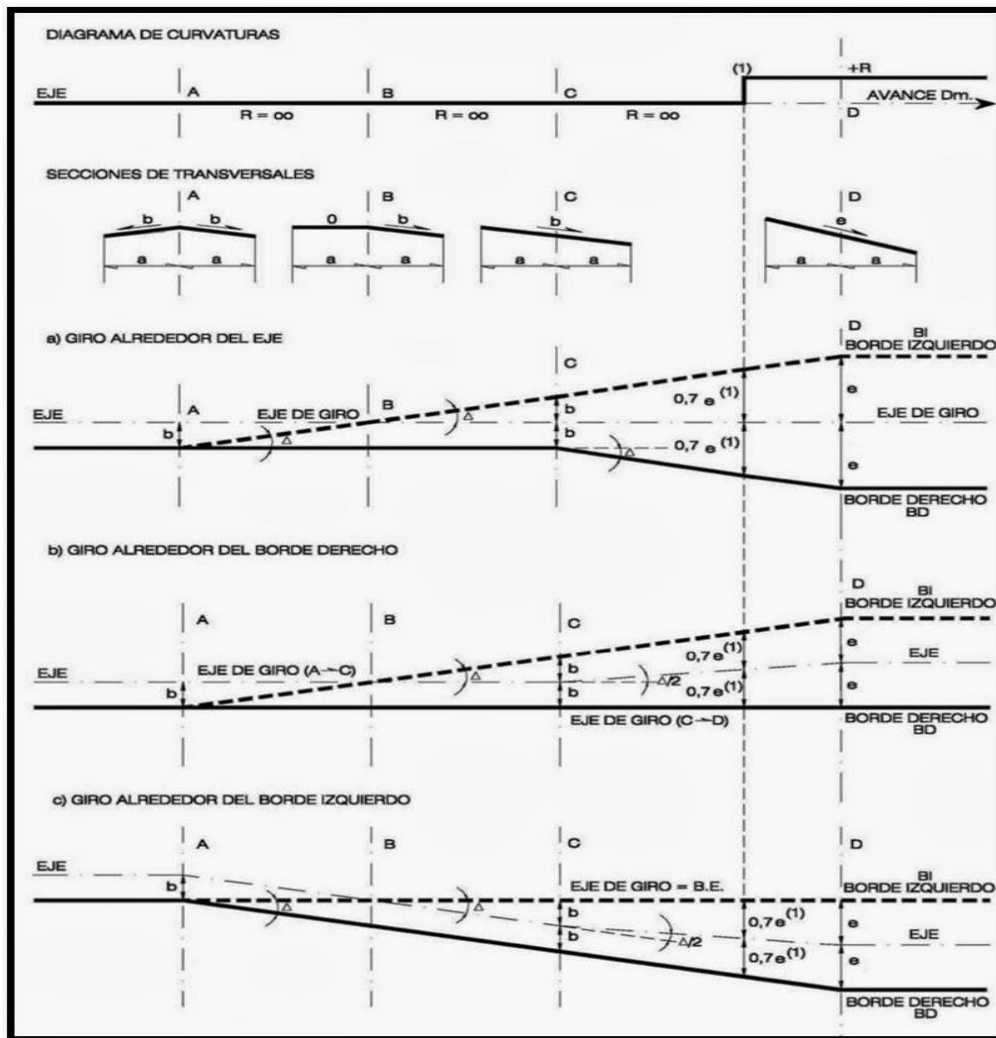
Velocidades	e _{max}	f
Caminos Vp 30-80 (km/h)	7%	0.265-Vp/602,4
Carreteras Vp 80 - 120 (km/h)	8%	0.193-Vp/1134

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

$$e_{max} = 7\%$$

En la siguiente figura se muestra el desarrollo del peralte en curvas circulares.

Figura 15. Desarrollo del peralte en curvas circulares



Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

2.5.5.5. Sobre ancho en curvas circulares

En curvas de radio pequeño y mediano, según sea el tipo de vehículos comerciales que circulan habitualmente por la carretera o camino, se deberá ensanchar la calzada con el objeto de asegurar espacios libres adecuados (huelgas), entre vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales y entre los vehículos y los bordes de las calzadas. El sobree ancho requerido equivale al aumento del espacio ocupado transversalmente por los vehículos al describir las curvas más las huelgas teóricas adoptada, (valores medios). El sobree ancho no podrá darse a costa de una disminución del ancho de la Berma o el SAP correspondiente a la Categoría de la ruta.

Las huellas teóricas consideradas para los vehículos comerciales de 2,6 m de ancho, en recta y en curva, según el ancho de una calzada de dos carriles, son:

Tabla 10. Huellas teóricas del sobreecho en curvas circulares

Calzadas de 6.00 metros	
En recta (m)	En curva ensanchada (m)
0.30	0.45
0.10	0.05
0.10	0.00

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

Ejemplo de cálculo de una curva horizontal

CURVA HORIZONTAL N° 1

Datos iniciales:

Velocidad de proyecto: 40 Km/hr
 Número de carriles: 2
 Progresiva inicial: 0+111.407
 Progresiva final: 0+231.082

CURVA CIRCULAR SIMPLE

Cálculo de los elementos

$$\Delta = \text{Ángulo de Deflexión} = 40^\circ 20' 04.7468'' = 40.3347$$

R = Radio de curvatura = 170 m

$$\text{Tangente: } T = R * Tg\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 62.44 \text{ m}$$

$$\text{Externa: } E = R * \left[Sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1\right] = 11.10 \text{ m}$$

$$\text{Flecha: } F = R * \left[1 - Cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right] = 10.42 \text{ m}$$

Longitud de Curva: $Lc = 2 * R * Sen\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 117.22 \text{ m}$

Desarrollo de curva: $Dc = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = 119.68 \text{ m}$

Planilla de replanteo

Progresiva	Distancia	Distancia	Angulo	Peralte	Sobreechancho
	Parcial	Acumulada	Tangencial	[m]	[m]
0+111.407	0.00	0.00	0°00'00"	0.12	0.88
0+120.00	8.59	8.59	1°26'53"	0.12	0.88
0+130.00	10.00	18.59	3°08'00"	0.12	0.88
0+140.00	10.00	28.59	4°49'06"	0.12	0.88
0+150.00	10.00	38.59	6°30'13"	0.12	0.88
0+160.00	10.00	48.59	8°11'19"	0.12	0.88
0+170.00	10.00	58.59	9°52'26"	0.12	0.88
0+180.00	10.00	68.59	11°33'33"	0.12	0.88
0+190.00	10.00	78.59	13°14'39"	0.12	0.88
0+200.00	10.00	88.59	14°55'46"	0.12	0.88
0+210.00	10.00	98.59	16°36'52"	0.12	0.88
0+220.00	10.00	108.59	18°17'59"	0.12	0.88
0+230.00	10.00	118.59	19°59'06"	0.12	0.88
0+231.082	1.08	119.68	20°10'02"	0.12	0.88

Fuente: Elaboración propia

CURVA HORIZONTAL N° 5

Datos iniciales:

Velocidad de proyecto: 40 Km/hr

Número de carriles: 2

Progresiva inicial: 0+939.82

Progresiva final: 0+964.85

CURVA CIRCULAR SIMPLE

Cálculo de los elementos

$$\Delta = \text{Ángulo de Deflexión} = 07^\circ 10' 07.8266'' = 7.1688$$

$$R = \text{Radio de curvatura} = 200 \text{ m}$$

$$\text{Tangente:} \quad T = R * Tg\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 12.53 \text{ m}$$

$$\text{Externa:} \quad E = R * \left[\text{Sec}\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1 \right] = 0.39 \text{ m}$$

$$\text{Flecha:} \quad F = R * \left[1 - \text{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right) \right] = 0.39 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de Curva:} \quad Lc = 2 * R * \text{Sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 25.01 \text{ m}$$

$$\text{Desarrollo de curva:} \quad Dc = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = 25.02 \text{ m}$$

Planilla de replanteo

Progresiva	Distancia	Distancia	Angulo	Peralte	Sobreancho
	Parcial	Acumulada	Tangencial	[m]	[m]
0+939.82	0.00	0.00	0°00'00"	0.11	0.77
0+940.00	0.18	0.18	0°01'32"	0.11	0.77
0+950.00	10.00	10.18	1°27'29"	0.11	0.77
0+960.00	10.00	20.18	2°53'26"	0.11	0.77
0+964.85	4.85	25.02	3°35'04"	0.11	0.77

Fuente: Elaboración propia

CURVA HORIZONTAL N° 20

Datos iniciales:

Velocidad de proyecto: 40 Km/hr

Número de carriles: 2

Progresiva inicial: 3+864.11

Progresiva final: 3+952.58

CURVA CIRCULAR SIMPLE

Cálculo de los elementos

$$\Delta = \text{Ángulo de Deflexión} = 25^\circ 20' 42.9541'' = 25.3453$$

$$R = \text{Radio de curvatura} = 200 \text{ m}$$

$$\text{Tangente:} \quad T = R * Tg\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 44.97 \text{ m}$$

$$\text{Externa:} \quad E = R * \left[\text{Sec}\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1 \right] = 4.99 \text{ m}$$

$$\text{Flecha:} \quad F = R * \left[1 - \text{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right) \right] = 4.87 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de Curva:} \quad Lc = 2 * R * \text{Sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 87.75 \text{ m}$$

$$\text{Desarrollo de curva:} \quad Dc = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = 88.47 \text{ m}$$

Planilla de replanteo

Progresiva	Distancia	Distancia	Angulo	Peralte	Sobreancho
	Parcial	Acumulada	Tangencial	[m]	[m]
3+864.11	0.00	0.00	0°00'00"	0.11	0.77
3+870.00	5.89	5.89	0°50'37"	0.11	0.77
3+880.00	10.00	15.89	2°16'34"	0.11	0.77
3+890.00	10.00	25.89	3°42'30"	0.11	0.77
3+900.00	10.00	35.89	5°08'27"	0.11	0.77
3+910.00	10.00	45.89	6°34'24"	0.11	0.77
3+920.00	10.00	55.89	8°00'20"	0.11	0.77
3+930.00	10.00	65.89	9°26'17"	0.11	0.77
3+940.00	10.00	75.89	10°52'13"	0.11	0.77
3+950.00	10.00	85.89	12°18'10"	0.11	0.77
3+952.58	2.58	88.47	12°40'22"	0.11	0.77

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el cuadro resumen de los elementos de las curvas horizontales. De la misma manera se hace notar que diseño completo del alineamiento horizontal más las planillas de replanteo de todas las curvas horizontales se muestra en ANEXOS 5 DISEÑO GEOMETRICO.

Cuadro 17. Elementos calculados de las curvas horizontales

PI	POLIGONAL				ELEMENTOS DE CURVA				ARRASTRE DE PROGRESIVAS				PARAMETROS DE DISEÑO			
	Progresiva	Norte	Este	Azimut Dirección	Radio (m)	Lc (m)	Entrada (m)	Salida (m)	TS (Km)	SC (Km)	CS (km)	ST (km)	Vp (Km/h)	e (%)	Tg ext (m)	Sec ext (m)
1	0+173.84	7615428.638	381028.7771	S44° 41' 14"E	170.00	119.68	45.00	45.00	0+066.41	0+111.41	0+231.08	0+276.08	40	7	62.438	11.103
2	0+425.01	7615342.477	381269.7219	S78° 49' 13"E	100.00	2.28	20.00	20.00	0+403.87	0+423.87	0+426.15	0+446.15	40	7	1.14	0.006
3	0+650.83	7615326.758	381494.6983	N69° 25' 20"E	60.00	33.15	20.00	20.00	0+613.82	0+633.82	0+666.97	0+686.97	40	7	17.007	2.364
4	0+744.76	7615388.327	381566.3117	N66° 58' 58"E	60.00	18.04	30.00	30.00	0+705.67	0+735.67	0+753.71	0+783.71	40	7	9.086	0.684
5	0+952.35	7615394.319	381773.5381	N83° 28' 09"E	200.00	25.02	20.00	20.00	0+919.82	0+939.82	0+964.84	0+984.84	40	7	12.528	0.392
6	1+085.60	7615418.799	381904.2858	S82° 02' 19"E	80.00	28.48	30.00	30.00	1+041.21	1+071.21	1+099.69	1+129.69	40	7	14.392	1.284
7	1+196.65	7615374.494	382006.0703	S86° 48' 04"E	80.00	41.78	30.00	30.00	1+145.28	1+175.28	1+217.05	1+247.05	40	7	21.378	2.807
8	1+434.84	7615461.751	382228.2426	N58° 22' 42"E	200.00	43.65	20.00	20.00	1+392.93	1+412.93	1+456.58	1+476.58	40	7	21.91	1.197
9	1+573.96	7615545.915	382338.243	N82° 54' 02"E	50.00	21.87	25.00	25.00	1+537.85	1+562.85	1+584.72	1+609.72	40	7	11.111	1.22
10	1+654.85	7615516.921	382413.3351	S75° 41' 16"E	160.00	58.29	10.00	10.00	1+615.38	1+625.38	1+683.66	1+693.66	40	7	29.47	2.691
11	1+897.22	7615517.224	382655.5857	N51° 57' 00"E	75.00	75.07	30.00	30.00	1+826.20	1+856.20	1+931.28	1+961.28	40	7	41.021	10.485
12	2+143.55	7615760.761	382722.758	N44° 02' 01"E	120.00	114.96	20.00	20.00	2+061.23	2+081.23	2+196.19	2+216.19	40	7	62.32	15.218
13	2+545.54	7615862.701	383121.3344	N86° 05' 42"E	120.00	21.23	20.00	20.00	2+514.90	2+534.90	2+556.12	2+576.12	40	7	10.642	0.471

14	2+657.81	7615856.171	383233.3859	N73° 45' 10"E	110.00	65.18	20.00	20.00	2+604.23	2+624.23	2+689.42	2+709.42	40	7	33.58	5.011
15	2+826.31	7615965.488	383362.95	N11° 36' 06"E	50.00	25.64	30.00	15.00	2+783.20	2+813.20	2+838.84	2+853.84	40	7	13.108	1.69
16	2+884.81	7616022.366	383348.4213	N5° 10' 19"W	100.00	43.46	-	-	-	2+862.73	2+906.19	-	40	7	22.078	2.408
17	3+348.11	7616482.832	383404.388	N11° 08' 30"W	80.00	31.44	20.00	20.00	3+312.19	3+332.19	3+363.62	3+383.62	40	7	15.924	1.569
18	3+506.30	7616627.077	383339.0656	N12° 27' 35"E	110.00	131.35	30.00	30.00	3+401.52	3+431.52	3+562.87	3+592.87	40	7	74.778	23.011
19	3+749.41	7616794.271	383538.287	N15° 55' 40"E	50.00	23.70	30.00	30.00	3+707.33	3+737.33	3+761.03	3+791.03	40	7	12.077	1.438
20	3+909.08	7616944.604	383487.9741	N7° 05' 16"W	200.00	88.47	20.00	20.00	3+844.11	3+864.11	3+952.58	3+972.58	40	7	44.972	4.994
21	4+092.59	7617128.011	383511.6823	N2° 14' 18"E	200.00	23.36	20.00	20.00	4+060.90	4+080.90	4+104.26	4+124.26	40	7	11.695	0.342
22	4+232.83	7617268.041	383505.1616	N10° 56' 04"E	100.00	32.04	20.00	20.00	4+196.67	4+216.67	4+248.71	4+268.71	40	7	16.157	1.297
23	4+367.46	7617393.376	383552.377	N15° 38' 35"W	50.00	27.71	30.00	30.00	4+353.23	4+353.23	4+381.95	4+410.95	40	7	14.223	1.984
24	4+459.05	7617455.006	383485.316	N25° 10' 23"W	50.00	24.47	20.00	20.00	4+426.56	4+446.56	4+471.03	4+491.03	40	7	12.487	1.536
25	4+536.37	7617532.282	383487.2289	N7° 54' 25"W	50.00	0.51	20.00	20.00	4+427.12	4+536.12	4+536.63	4+556.63	40	7	0.255	0.001
26	4+650.12	7617638.142	383448.6702	N2° 22' 11"W	50.00	10.30	25.00	25.00	4+619.95	4+644.95	4+655.25	4+680.25	40	7	5.169	0.266
27	4+892.21m	7617869.115	383520.2589	N22° 19' 51"E	300.00	26.86	20.00	20.00	4+858.77	4+878.77	4+905.63	4+925.63	40	7	13.438	0.301
28	5+469.92	7618385.856	383778.4398	N13° 53' 41"E	100.00	25.07	20.00	20.00	5+437.32	5+457.32	5+482.39	5+502.39	40	7	12.6	0.791
29	5+646.13	7618561.903	383785.8311	N16° 48' 21"E	100.00	35.23	20.00	20.00	5+608.33	5+628.33	5+663.56	5+683.56	40	7	17.799	1.572

Fuente: Elaboración propia

2.5.6. Alineamiento vertical

Las cotas del eje en planta de una carretera o camino, al nivel de la superficie del pavimento o capa de rodadura, constituyen la rasante o línea de referencia del alineamiento vertical. La representación gráfica de esta rasante recibe el nombre de Perfil Longitudinal del Proyecto.

La rasante determina las características en el alineamiento vertical de la carretera y está constituida por sectores que presentan pendientes de diversa magnitud y/o sentido, enlazadas por curvas verticales que normalmente serán parábolas de segundo grado.

Para fines de proyecto, el sentido de las pendientes se define según el avance de la distancia acumulada (Dm), siendo positivas aquéllas que implican un aumento de cota y negativas las que producen una pérdida de cota.

El trazado en el alineamiento vertical está controlado principalmente por la:

Categoría del camino

Topografía del área

Trazado en horizontal y velocidad V* correspondiente

Distancias de visibilidad

Drenaje

Valores estéticos y ambientales

2.5.6.1. Parámetros mínimos por visibilidad de frenado

2.5.6.1.1. Curva cóncavas

Se considera la distancia nocturna de frenado sobre un obstáculo fijo que debe quedar dentro de la zona iluminada por los faros del vehículo.

El parámetro queda dado por:

$$k_c = \frac{Df^2}{2 * (h + Df * \text{sen}\beta)}$$

Donde:

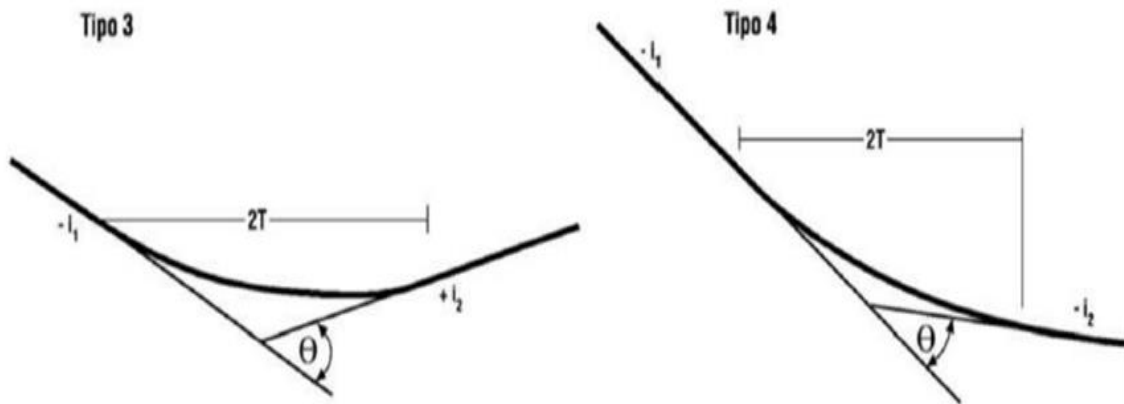
Kc = Parámetro de la curva vertical cóncava (m).

Df = Distancia de frenado (m).

H = Altura de los focos = 0,60 m.

β = Ángulo de abertura del haz luminoso respecto a su eje = 1°.

Figura 16. Curva vertical cóncava



Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

2.5.6.1.2. Curvas convexas

Se considera la distancia de frenado sobre un obstáculo fijo situado sobre el carril de tránsito y la altura de los ojos del conductor sobre la rasante de este carril. El parámetro queda dado por:

$$kv = \frac{Df^2}{2 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

Donde:

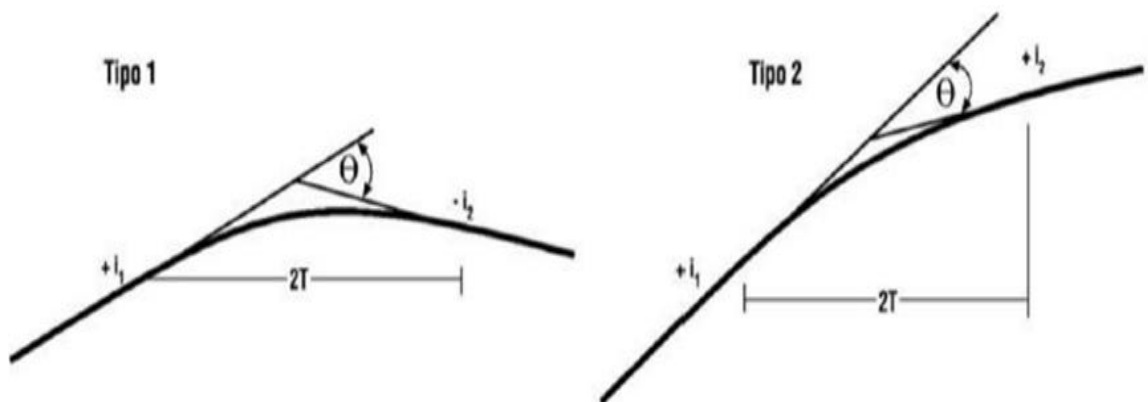
Kv = Parámetro de la curva vertical convexa (m).

Df = Distancia de frenado (m).

h1 = Altura de ojos del conductor = 1,10 m.

h2 = Altura del obstáculo = 0,20 m.

Figura 17. Curva vertical convexas



Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

Tabla 11. Parámetro mínimo en curva vertical por criterio de visibilidad de frenado

V_p	K_v	K_c
(km/h)	V*=V_p (Km/h)	V_p (Km/h)
30	300	400
40	400	500
50	700	1000
60	1200	1400
70	1800	1900
80	3000	2600

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C

$$K_v = 400 \quad \text{y} \quad K_c = 500$$

2.5.6.2. Pendiente máxima

La siguiente tabla establece las pendientes máximas admisibles según la categoría de la carretera o camino.

Tabla 12. Pendientes máximas admisibles %

Categoría	Velocidad de proyecto (km/h)									
	≤30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10-12	10-9	9	-	-	-	-	-	-(1)	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autorrutas	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4,5	-	4

Fuente: Manual de diseño geométrico ABC

La Pendiente longitudinal máxima = 9%.

2.5.6.3. Pendiente mínima

Es deseable proveer una pendiente longitudinal mínima del orden de 0,5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales. Se distinguirán los siguientes casos particulares:

Si la calzada posee un bombeo o inclinación transversal de 2% y no existen soleras o cunetas, se podrá excepcionalmente aceptar sectores con pendientes longitudinales de hasta 0,2%. Si el bombeo es de 2,5% excepcionalmente se podrán aceptar pendientes longitudinales iguales a cero.

Si al borde del pavimento existen soleras la pendiente longitudinal mínima deseable será de 0,5% y mínima absoluta 0,35%.

En zonas de transición de peralte en que la pendiente transversal se anula, la pendiente longitudinal mínima deberá ser de 0,5% y en lo posible mayor.

Si los casos analizados precedentemente se dan en cortes, el diseño de las pendientes de las cunetas deberá permitir una rápida evacuación de las aguas, pudiendo ser necesario revestirlas para facilitar el escurrimiento.

2.5.7. Curvas verticales

El ángulo de deflexión entre dos rasantes que se cortan, queda definido por la expresión:

$$\theta \text{ radianes} = (i_1 - i_2)$$

Es decir, θ se calcula como el valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida, expresadas en m/m. Las pendientes deberán considerarse con su signo, según la definición:

+ Pendiente de Subida según el avance de Dm

- Pendiente de Bajada según avance de Dm

Toda vez que la deflexión θ es igual o mayor que $0,5\% = 0,005$ m/m, se deberá proyectar una curva vertical para enlazar las rasantes. Bajo esta magnitud se podrá prescindir de la curva de enlace ya que la discontinuidad es imperceptible para el usuario.

El desarrollo de la curva de enlace se identifica con:

$$Lv = 2 * T$$

Siendo $2*T$ la proyección horizontal de las tangentes a la curva de enlace.

2.5.7.1. Criterios de diseño para curvas verticales

Las curvas verticales deben asegurar en todo punto del camino la Visibilidad de Frenado, ya sea que se trate de calzadas bidireccionales o unidireccionales.

En calzadas bidireccionales, si las condiciones lo permiten, el proyectista podrá diseñar curvas de enlace por criterio de visibilidad de adelantamiento, con lo que se asegura sobradamente la visibilidad de frenado.

El cálculo de curvas verticales presenta dos situaciones posibles, a saber:

$$Dv > 2 * T \quad Dv < 2 * T$$

La presente norma considera como situación general el caso $Dv < 2 * T$ ya que: representa el caso más corriente, implica diseños más seguros y la longitud de curva de enlace resultante de $Dv > 2 * T$, normalmente debe ser aumentada por criterio de comodidad y estética.

2.5.7.2. Parámetros mínimos por visibilidad de adelantamiento

En este caso, a considerar en caminos bidireccionales, tienen relevancia las curvas verticales convexas, ya que en las cóncavas las luces del vehículo en sentido contrario son suficientes para indicar su posición y no existe obstáculo a la visual durante el día a causa de la curva.

El parámetro mínimo para curvas convexas por condiciones de adelantamiento está dado por:

$$ka = Da^2 / 2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_5})^2$$

Donde:

Ka = Parámetro mínimo para visibilidad adelantamiento (m).

Da = Distancia de adelantamiento (m).

h1 = Altura de los ojos del conductor = 1,10 m.

h5 = Altura del vehículo en sentido contrario = 1,20 m.

Tabla 13. Parámetro mínimo de curvas verticales convexas

Vp (km/h)	30	40	50	60	70	80
Ka (m)	3500	630	980	14900	21000	27200

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

Los valores de Ka que figuran en la tabla mencionada están calculados para $D_a < 2T$, que será el caso real toda vez que se tenga $V \geq 60$ km/h y $\theta \geq 0,025$. De hecho, para las visibilidades de adelantamiento adoptadas en este manual, los parámetros Ka resultan prohibitivos para $V > 60$ km/h. Eventualmente, para velocidades muy bajas y θ moderados se cumplirá que $D_a > 2T$ y calculando con la expresión correspondiente, se logra reducir el parámetro requerido para asegurar D_a .

2.5.7.3. Longitud mínima de curvas verticales

Por condición de comodidad y estética, la longitud mínima de las curvas verticales está dada por:

$$2 * T(m) \geq V_p(km/h)$$

Es decir, el desarrollo mínimo de la curva vertical será el correspondiente al número de metros que representa la velocidad de proyecto de la carretera, expresada en Km/h.

En los casos en que la combinación parámetro mínimo ángulo de deflexión θ no cumple con esta condición de desarrollo mínimo, se determinará el parámetro mínimo admisible a partir de:

$$k = 2 * \frac{T \text{ minimo}}{\theta} \geq \frac{Vp}{\theta}$$

Cálculo de la longitud de curva vertical.

El ángulo de deflexión entre dos rasantes que se cortan, queda definido por la expresión:

$$A = (i_1 - i_2)$$

Es decir θ se calcula como el valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida. Bajo las circunstancias descritas el desarrollo de la curva vertical de enlace queda dado por:

$$L_v = R * A = R * (i_1 - i_2)$$

Adoptando la nomenclatura correspondiente a la parábola de segundo grado, el radio R pasa a llamarse “K” que corresponde al parámetro de esta curva.

Finalmente, dentro del rango de aproximaciones aceptadas, el desarrollo de la curva de enlace se identifica con:

$$L_v = 2 * T$$

Siendo 2T la proyección horizontal de las tangentes a la curva de enlace.

En definitiva, para todos los efectos de cálculo y replanteo, la longitud de la curva vertical de enlace está dada según medidas reducidas a la horizontal y vale:

$$2 * T = K * A = k * (i_1 - i_2)$$

$$L_v = k * (i_1 - i_2)$$

Ejemplo de cálculo de la longitud vertical.

Datos de entrada:

PVI Prograsiva: 1+444.75

PVI Elevación: 1249.544

Pendiente de entrada(i_1): 0.50%

Pendiente de salida(i_2): -8.02%

$$A = |0.50 - (-8.02)| = (0.50 + 8.02) = 8.52 \%$$

$$K = 11.735$$

$$L_v = k * (i_1 - i_2) = 11.735 * (0.50 + 8.02) = 99.98 \text{ m}$$

Se adopta una longitud de curva vertical de 100.00 m.

A continuación, se muestra el cuadro resumen de las curvas verticales obtenidas para el proyecto con todos sus elementos calculados y se hace notar que el reporte completo de todas las curvas verticales están en ANEXOS 5 DISEÑO GEOMETRICO.

Cuadro 18. Elementos de las curvas verticales

N°	PVI Progresiva (Km)	PVI Elevación (m.s.n.m)	Pendiente Entrada (%)	Pendiente Salida (%)	A (%)	Constante K	Tipo Curva	Longitud de curva calculada (m)	Longitud de curva adoptada (m)
1	0+000.00	1194.953		3.50					
2	0+103.56	1198.577	3.50	-0.50	4.00	37.503	Convexa	150.012	150.00
3	0+376.10	1197.215	-0.50	6.45	6.95	14.390	Cóncava	100.011	100.00
4	1+165.87	1248.15	6.45	0.50	5.95	16.808	Convexa	100.008	100.00
5	1+444.75	1249.544	0.50	-8.02	8.52	11.735	Convexa	99.982	100.00
6	2+451.82	1168.763	-8.02	0.50	8.52	23.470	Cóncava	199.964	200.00
7	3+685.16	1174.93	0.50	-8.61	9.11	16.472	Convexa	150.060	150.00
8	4+042.85	1144.145	-8.61	1.90	10.51	11.422	Cóncava	120.045	120.00
9	4+300.30	1149.035	1.90	6.99	5.09	19.660	Cóncava	100.069	100.00
10	4+912.63	1191.814	6.99	-8.00	14.99	8.005	Convexa	119.995	120.00
11	5+239.39	1165.659	-8.00	-0.99	7.01	18.539	Cóncava	129.958	130.00
12	5+485.90	1163.214	-0.99	-7.91	6.92	14.459	Convexa	100.056	100.00

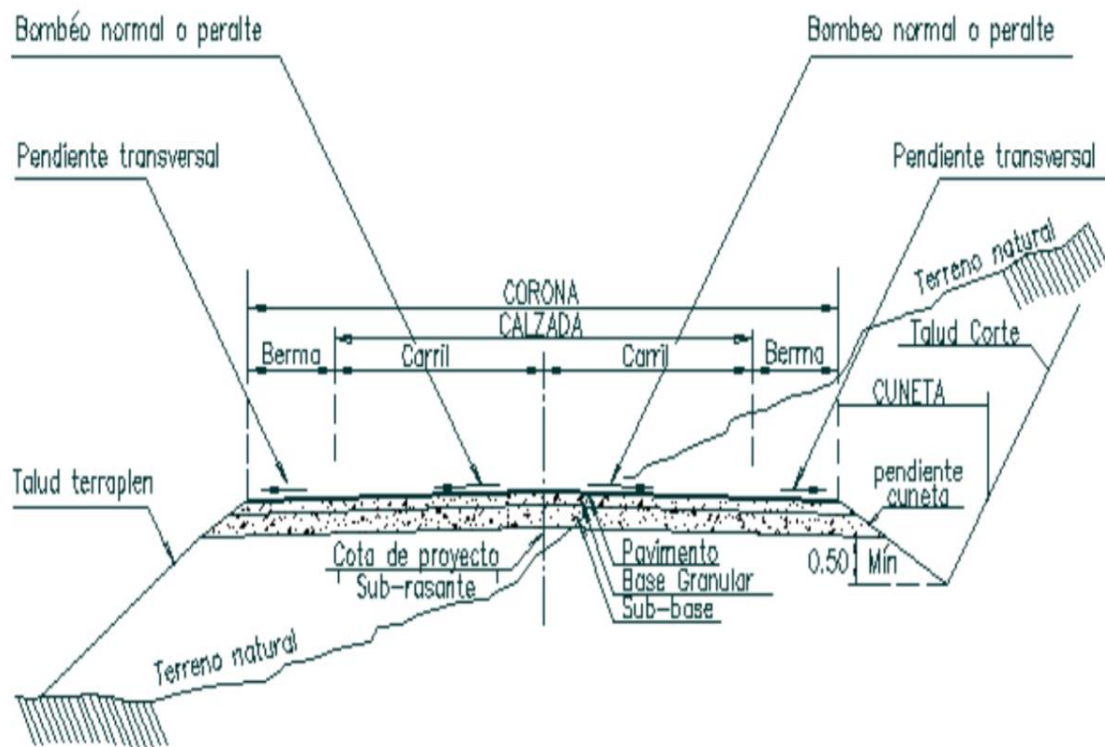
Fuente: Elaboración propia

2.5.8. Sección transversal

La Sección Transversal de una carretera o camino describe las características geométricas de éstas, según un plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera. Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la vía, ya que ella resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que ellas cumplan y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.

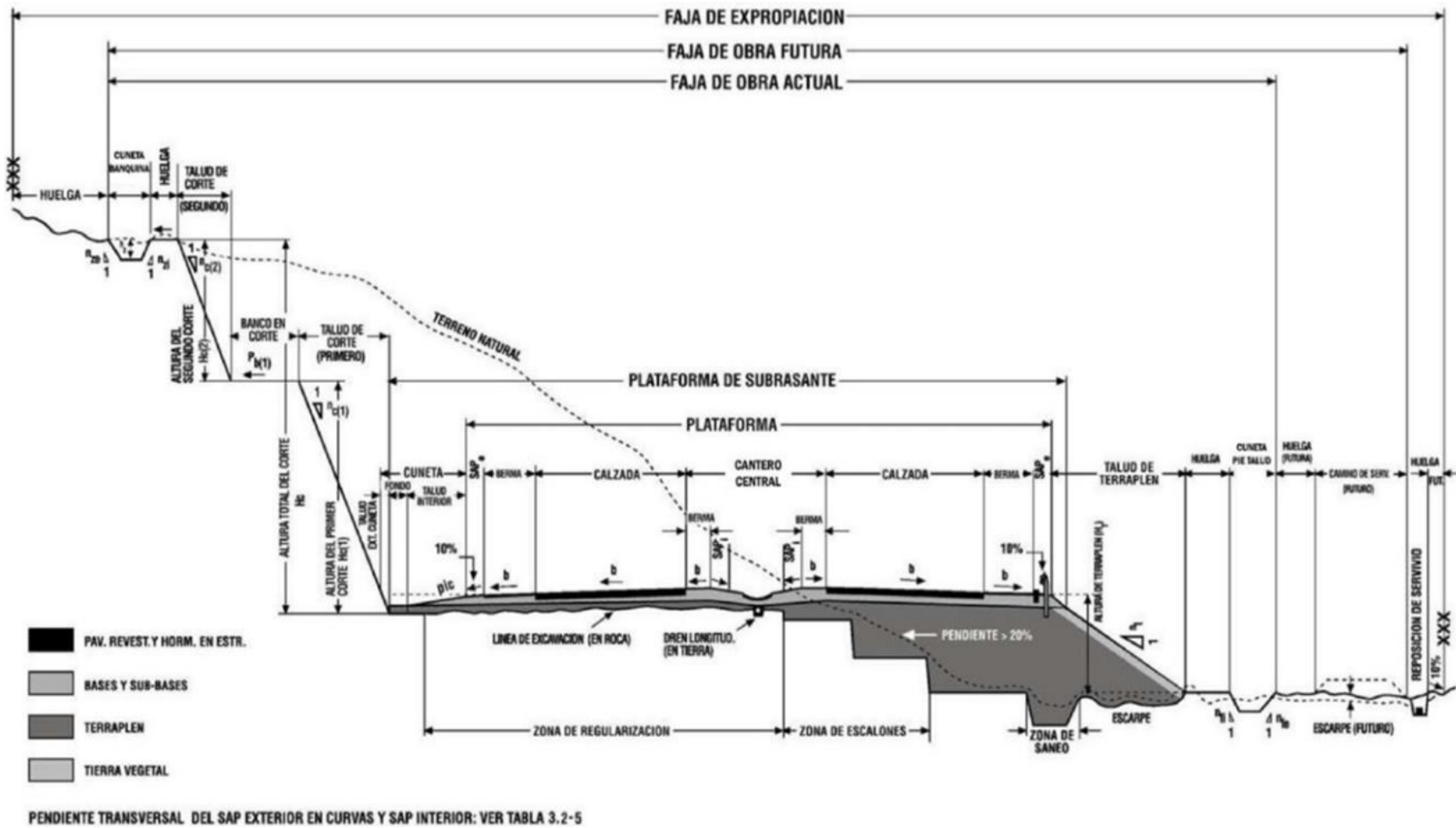
En la figura 18 se muestra una sección transversal tipo, la cual muestra todas sus partes más importantes. Y en la figura 19 se presenta un perfil transversal mixto (corte y terraplén) correspondiente al caso de una vía con calzadas separadas en recta.

Figura 18. Sección transversal y sus partes



Fuente: Ingeniería de Caminos Rurales Ing. Gordon Kelle

Figura 19. Perfil transversal descriptivo, calzadas separadas en recta



Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

2.5.8.1. Plataforma

Se llama “plataforma” a la superficie visible de una vía formada por sus calzadas, sus bermas, los sobrecanchos de plataforma (SAP) y su cantero central, en caso de existir esta última como parte de la sección transversal tipo.

El ancho de la plataforma será entonces la suma de los anchos de sus elementos constitutivos, cuyas características se definen a continuación.

La altimetría de la plataforma está dada por el perfil longitudinal de la rasante y por la inclinación transversal de sus elementos.

En Caminos Locales y de Desarrollo los anchos de carriles y bermas se seleccionarán considerando los volúmenes de demanda, esperados y la dificultad topográfica del emplazamiento. El uso de los anchos mínimos deberá contar con la autorización expresa de la Administradora Boliviana de Carreteras.

2.5.8.2. Calzada

Una calzada es una banda material y geoméricamente definida, de tal modo que su superficie pueda soportar un cierto tránsito vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros de los mismos.

La calzada está formada por dos o más carriles. Un carril será entonces cada una de las divisiones de la calzada que pueda acomodar una fila de vehículos transitando en un sentido.

Las calzadas pueden ser pavimentada o no. Si son pavimentadas, quedarán comprendidas entre las bermas. Si no existe pavimento, calzada y bermas se confunden y prestan el mismo servicio.

Salvo en los casos de Caminos Locales y de Desarrollo con velocidades de proyecto menores o iguales que 60 km/h, en los que la Administradora Boliviana de Carreteras podrá autorizar ancho de carriles de menos de 3,5 m, para todas las demás categorías y velocidades de proyecto el ancho mínimo de carriles será de 3,5 m.

Ancho de calzada = 6 m.

2.5.8.3. Bermas

Son parte del camino contigua a la calzada, comprendida entre el borde exterior del carril y el borde interior de la cuneta o del talud según sea la sección en corte o en terraplén. Las bermas reciben también las denominaciones de banquetas, hombrillos, arcenes y acotamientos. Ellas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial, o simplemente ser una prolongación de la capa de grava en los caminos no pavimentados.

Las bermas cumplen cuatro funciones básicas: proporcionan protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad; permiten detenciones ocasionales; aseguran una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores, aumentando de este modo la capacidad de la vía y ofrecen espacio adicional para maniobras de emergencia, aumentando la seguridad

Para que estas funciones se cumplan en la práctica, las bermas deben ser de un ancho constante, estar libres de obstáculos y deben estar compactadas homogéneamente en toda su sección.

Ancho de berma = 0.5 m.

2.5.8.4. Sobre ancho de plataforma (SAP)

La plataforma en terraplén tendrá siempre un SAP mínimo de 0,5 m que permita confinar las capas de subbase y base de modo que en el extremo exterior de la berma sea posible alcanzar el nivel de compactación especificado. Consecuentemente, en los 0,5 m exteriores del SAP no se podrá lograr la compactación máxima exigida por el resto de la plataforma por falta de confinamiento y riesgo por pérdida de estabilidad del equipo de compactación.

En plataformas en corte, si la cuneta es revestida, se podrá prescindir del SAP como parte de la sección transversal, no obstante, a ello, al extender las capas de subbase y base se colocará inicialmente un sobrecancho de 0,5 m para poder compactar adecuadamente el borde exterior de las bermas.

Si la cuneta no lleva revestimiento la sección transversal debe considerar un SAP de 0,5 m, para separar las capas estructurales de las aguas que escurren por la cuneta.

Sobre ancho de plataforma = 0.5 m.

2.5.8.5. Pendiente transversal de la calzada

La pendiente transversal de la calzada debe ser lo suficiente para asegurar un adecuado escurrimiento de las aguas superficiales, para evitar que la infiltración afecte la estructura del pavimento y para disminuir las posibilidades de formación de láminas de agua, peligrosas durante la circulación de los vehículos.

En la siguiente tabla se muestran las pendientes transversales de las calzadas en función del tipo de pavimento y el clima de la zona, ya que estos son los factores más importantes en la elección de este parámetro de diseño, sin dejar de lado la comodidad y funcionalidad de la vía.

Tabla 14. Pendiente transversal de la calzada

Tipo de pavimento	Pendiente transversal	
	Zona húmeda	Zona seca
Pavimento de hormigón	2.0 – 1.5	2.0 – 1.5
Pavimento flexible	2.5 – 2.0	2.0
Pavimentos porosos o tratamiento superficial	3.0 – 2.5	2.5 – 2.0
Calzadas no pavimentadas	4.0 – 3.0	3.5 – 3.0

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

Pendiente transversal de la calzada = 2%

2.5.8.6. Bombeo

En tramos rectos o en aquellos cuyo radio de curvatura permite el contra peralte, las calzadas deberán tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura y de la Intensidad de la Lluvia, propia del área en que se emplaza el trazado.

La siguiente tabla especifica estos valores indicando en algunos casos un rango dentro del cual el proyectista deberá moverse, afinando su elección según los matices de la rugosidad de las superficies y de los climas imperantes.

El bombeo se puede dar de varias maneras, dependiendo del tipo de plataforma y de las conveniencias específicas del proyecto en una zona dada.

Tabla 15. Bombeos de la calzada

Tipo de superficie	Pendiente transversal	
	$(I^1_{10}) \leq 15 \text{ mm/h}^{(1)}$	$(I^1_{10}) > 15 \text{ mm/h}^{(1)}$
Pavimento de hormigón o asfalto	2,0	2,5
Tratamiento superficial	3,0 (2)	3,5
Tierra, grava, chancado	3,0 – 3,5 (2)	3,5 – 4,0

Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

Estos valores de la sección transversal fueron asumidos de acuerdo a la siguiente tabla la cual está en función de la categoría de la carretera y de la velocidad de proyecto.

Tabla 16. Resumen de anchos de plataforma en terraplén y sus elementos

Número de calzada y categoría			Velocidad de proyecto (Km)	Ancho de pista "a" (m) (1)	Ancho de berma		Ancho SAP (3)		Ancho de cantero central - M (m)			Ancho total de plataformas a nivel rasante		
					"bi" Interior (m)	"be" Exterior (m)	"Si" Interior (m)	"Se" Exterior (m)	Inicial 4 pistas ampliable a 6	Final 6 pistas	Final - inicial 4 pistas	6 pistas y 4 ampliable	4 pistas	2 pistas
Calzada bidireccional	Primario	Colector	100-90	3.5	-	2.5	-	1.0	-	-	-	-	-	14.0
			80	3.5	-	2.0	-	0.5-0.8	-	-	-	-	-	12.0
	Local	Desarrollo	80	3.5	-	1.5	-	0.5-0.8	-	-	-	-	-	11.0
			70	3.5	-	1.0-1.5	-	0.5-0.8	-	-	-	-	-	10 - 11
			60	3.0-3.5	-	0.5-1.0	-	0.5-0.8	-	-	-	-	-	8 - 10
			50	3.0-3.5	-	0.5-1.0	-	0.50	-	-	-	-	-	8 - 10
			40	3.0	-	0.0-0.5	-	0.50	-	-	-	-	-	7 - 8
			30	2.0-3.0	-	0.0-0.5	-	0.50	-	-	-	-	-	5 - 6

Fuente: Manual de diseño geométrico ABC

2.5.9. Parámetros para el diseño

Son diversos los parámetros a considerar para un diseño de carretera, los cuales se plasman a continuación para un mejor entendimiento.

Cuadro 19. Parámetros de diseño

Parámetros	Valores	Unidades
Categoría del camino	Local (2BD)	
Velocidad de diseño	40	(km/h)
Peralte máximo	7.0	(%)
Coefficiente de fricción transversal	0.198	-
Radio mínimo	50	(m)
Distancia mínima de frenado	38	(m)
Distancia mínima de adelantamiento	240	(m)
Ancho de calzada	6.0	(m)
Berma	0.5	(m)
Ancho de carril	3.0	(m)
Bombeo	2.0	(%)
SAP sobre ancho de plataforma	0.5	(m)
Derecho de vía	30	(m)
Coefficiente Kc mínimo cóncavo	500	-
Coefficiente Kv mínimo convexo	400	-

Fuente: Elaboración propia

2.5.10. Taludes de corte y terraplén

El talud es la inclinación del terreno después de haber realizado el corte o después de haber formado el terraplén. Sus valores dependen de la aplicación de criterios de seguridad, estabilidad, mantenimiento, estética y economía, y también de la naturaleza de los suelos, características geológicas y geotécnicas, y de las condiciones hidrológicas y desagüe.

2.5.10.1. Taludes de corte

Se refiere a la excavación en el terreno existente, destinada a abrir una vía de paso a la carretera. Esta excavación puede realizarse por medios mecánicos o con explosivos, según el tipo de terreno.

La inclinación de los taludes de corte varía según sea la calidad y estratigrafía de los suelos encontrados. Dichas inclinaciones podrán ser únicas en un tramo del trazado, o bien presentar variaciones en un mismo perfil.

Un talud de corte puede presentar uno o más bancos. El primer escalón, contado desde abajo, queda definido por su ancho, por su pendiente transversal y por la altura entre su borde exterior y el de la cuneta, o entre el primero y el eje de la carretera, según aconsejen las conveniencias estéticas e hidráulicas en cada caso. Los bancos pueden ser diseñados como permanentes o transitorios si se prevé que ellos sean cubiertos con materiales desprendidos o derramados desde los siguientes. En ambos, los bancos deben tener un ancho mínimo que es función de las características geológicas del terreno y en zonas de nevazones frecuentes, de la intensidad de éstas.

Sus inclinaciones transversales deben ser del orden del 4%, vertiendo hacia la pared del corte si son permanentes y no superiores al 5(H): 1 (V), vertiendo hacia la plataforma, si son transitorios.

El talud de corte utilizado en el diseño de este proyecto va de acuerdo al estudio Geotécnico realizado a lo largo de la carretera es de 2:1 (V:H).

2.5.10.2. Taludes de terraplén

Es el aporte o relleno de tierras en zonas de cota inferior a la prevista en el proyecto, puede aprovecharse las tierras que son extraídas de la zona de desmonte.

Cuando una carretera o camino se emplaza en terraplén, los materiales de éste provendrán de las excavaciones hechas en otros puntos del trazado o de yacimientos. En cualquier caso, las características de dichos materiales serán relativamente previsibles y por lo general se podrá anticipar la inclinación máxima admisible de los taludes en función de la altura de los terraplenes.

El diseño de taludes de terraplén, desde el punto de vista estructural, se encuentra en función del tipo de material que lo constituye y de los suelos sobre los que se fundan.

Cuando los materiales lo permitan, los taludes de terraplén con altura inferior a 15 metros tendrán una inclinación máxima de 1:1.5 (H: V).

Los taludes de terraplenes de alturas mayores que 15 m deben ser objeto de un estudio especializado, del cual surgirá su adecuada inclinación.

Si un terraplén debe cimentarse sobre suelos que presenten inclinaciones superiores al 20% o que estén constituidos por materiales inadecuados, se deberán considerar obras especiales para minimizar los peligros de deslizamiento o de asentamientos diferenciales excesivos.

El talud de terraplén utilizado en el diseño del presente proyecto es de 1:1.5 (V:H), de acuerdo al Manual de Normas de Diseño de la Administradora Boliviana de Carreteras.

2.5.11. Volúmenes de movimiento de tierras

Un factor que influye significativamente a la selección del trazado de una vía es el terreno. Que a su vez afecta al trazado de la rasante. El factor primordial que el diseñador considera para el trazado de la rasante, es el volumen de movimiento de tierras que será necesario para la rasante seleccionada.

Un método para reducir el volumen de movimiento de tierras, es trazar la rasante tan cerca como sea posible al nivel natural del terreno. Esto no siempre es posible, especialmente para terreno ondulado o montañoso. También puede obtener un costo general menor si la rasante se traza de modo que haya un balance entre el volumen escavado y el volumen de terraplén.

A continuación se describe como se traza una rasante en la vía, que maximice el uso del suelo natural, minimizando a su vez el volumen de corte o de terraplén en exceso.

2.5.11.1. Cálculo de los volúmenes de movimiento de tierra

Para determinar el volumen de movimiento de tierra que interviene para una rasante dada, se toman perfiles transversales a intervalos regulares a lo largo de rasante. En general las secciones transversales están separadas cada 10 metros, aunque a veces se aumenta esta distancia para la ingeniería preliminar. Estas secciones transversales se obtienen al graficar el nivel del terreno y la rasante propuesta para la vía, a lo largo de una línea perpendicular a la rasante para indicar las áreas de excavación y las áreas de terraplén.

Un método común para determinar el volumen es el del promedio de las áreas extremas. Este procedimiento se basa en la suposición de que el volumen entre dos secciones transversales consecutivas, es el promedio de sus áreas multiplicado por la distancia entre aquellas, tal como se da en la siguiente ecuación.

$$V = \frac{L}{2}(A_1 + A_2)$$

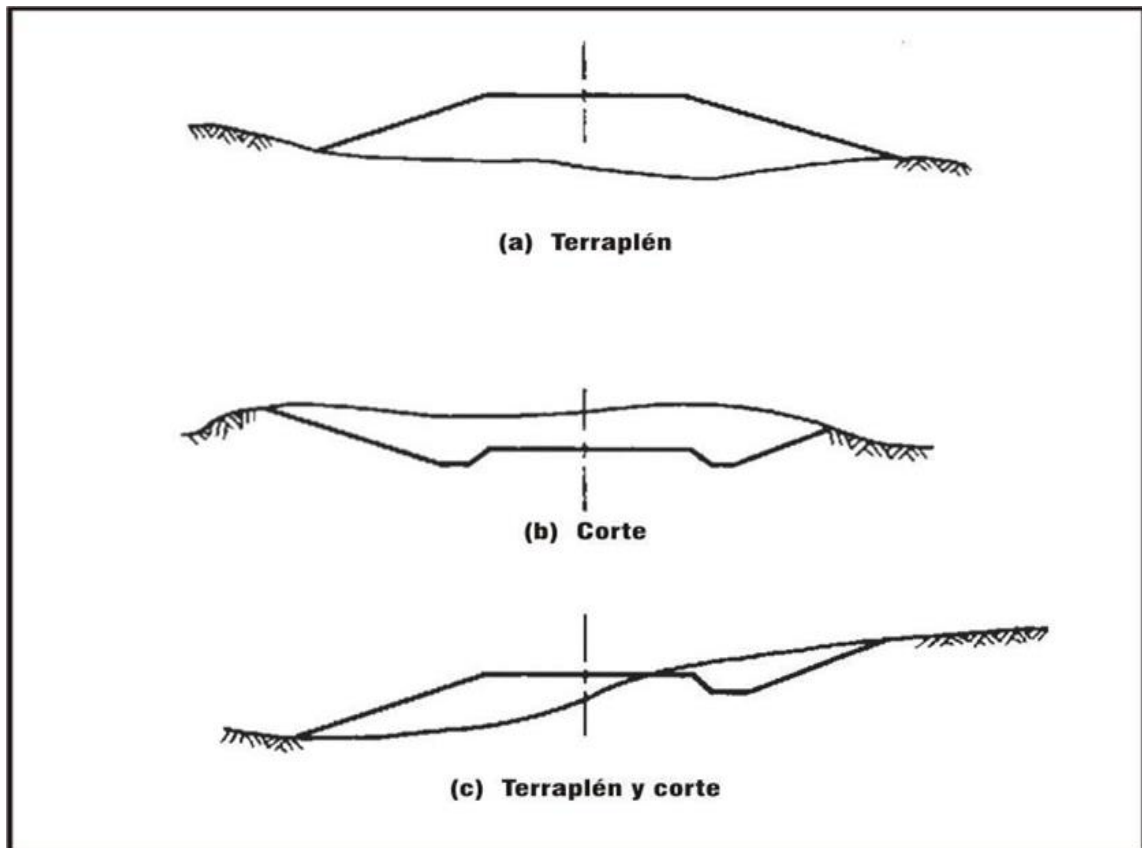
Donde

V = Volumen (m³).

A1 y A2 = Áreas extremas (m²).

L = Distancia entre las secciones transversales (m).

Figura 20. Tipos de secciones transversales de terraplén y de corte



Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

Se ha encontrado que el método del promedio de las áreas extremas, es lo suficientemente exacto para la mayor parte de los cálculos de movimiento de tierras, ya que las secciones transversales se toman con una separación de 10 a 20 metros. Cuando se requiere mayor exactitud, como en situaciones en las cuales la rasante pasa de una sección de corte a una de terraplén, el volumen puede considerarse como una pirámide o como otra forma geométrica.

Cubicación en vía recta

Método de las áreas medias:

Casos particulares.

1er. Caso. Volumen corte - corte

$$Vc = \frac{(A_{c1} + A_{c2}) * L}{2}$$

2do. Caso. Volumen relleno – relleno

$$Vr = \frac{(A_{r1} + A_{r2}) * L}{2}$$

3er. – 4to. Caso. Volumen (relleno – corte) (corte – relleno)

$$Vc = \frac{A_c^2 * L}{2 * (Ac + Ar)}$$

$$Vr = \frac{Ar^2 * L}{2 * (Ac + Ar)}$$

5to. Caso. Mixtas

$$Vc = V_{c1} + V_{c2}$$

$$Vr = V_{r1} + V_{r2} + V_{r3}$$

Donde:

Ac = Área de corte (m²)

Ar = Área de relleno (m²)

L = Longitud entre progresivas (m)

Vc = Volumen de corte (m³)

Vr = Volumen de relleno (m³)

Excentricidades:

Caso “ Corte - Relleno ”

$$e = \frac{1}{3 * A} * (A + S) * (\pm di \pm dd)$$

Caso Mixtas

$$e = \frac{1}{3} * (\pm x \pm a \pm d)$$

Coefficiente de corrección de curvatura

$$Cc = \frac{L}{2 * R} * (A_1 e_1 + A_2 e_2)$$

Volumen corregido en vía curva

$$V_{curva} = V_{recta} \pm Cc$$

Donde:

dd = Distancia del eje al borde derecho (m).

di = Distancia del eje al borde izquierdo (m).

S = Área de relleno sobre la calzada (m²).

X = Longitud del eje a la intersección de la calzada con el terreno (m).

A = Longitud del carril (m).

R = Radio de curvatura (m).

Se hace notar que es una práctica común en la actividad de movimiento de tierras, mover el material adecuado de las secciones de corte a las secciones de terraplén, para reducir a un mínimo el volumen de material de bancos de préstamos. Cuando el material excavado de las secciones de corte se compacta en las secciones de terraplén, ocupa un volumen menor que el que ocupaba originalmente. Este fenómeno se conoce como consolidación o compactación y debe contemplarse cuando el material excavado va a volver a usarse como material de relleno. La compactación depende del tipo de material. Se han observado consolidaciones de hasta 50 por ciento para algunos suelos. Sin embargo, los factores de consolidación o compactación que se emplean generalmente varían entre 1.10 y 1.25 para terraplenes altos, y entre 1.20 y 1.25 para terraplenes bajos. Estos factores se aplican al volumen de relleno con objeto de determinar la cantidad requerida de material de relleno.

Después de comprender bien el anterior concepto tenemos una idea clara para determinar de una manera adecuada los volúmenes de movimiento de tierra ya sea utilizando un coeficiente de expansión o contracción, en nuestro caso se utilizó un coeficiente de contracción de 1.20 debido a que se cuenta con terraplenes altos como bajos.

Los volúmenes de movimiento de tierra, tanto en corte como en relleno son obtenidos luego del trazado de la subrasante, dichos volúmenes de corte como de relleno se muestran a continuación en el siguiente cuadro.

Cuadro 20. Resumen de volúmenes de movimiento de tierra

Volumen de corte acumulado (m³)	Volumen de relleno acumulado (m³)	Volumen de sobre acarreo (m³)
398609.66	102578.71	296030.95

Fuente: Elaboración propia.

2.5.12. Diagrama de curva de masa

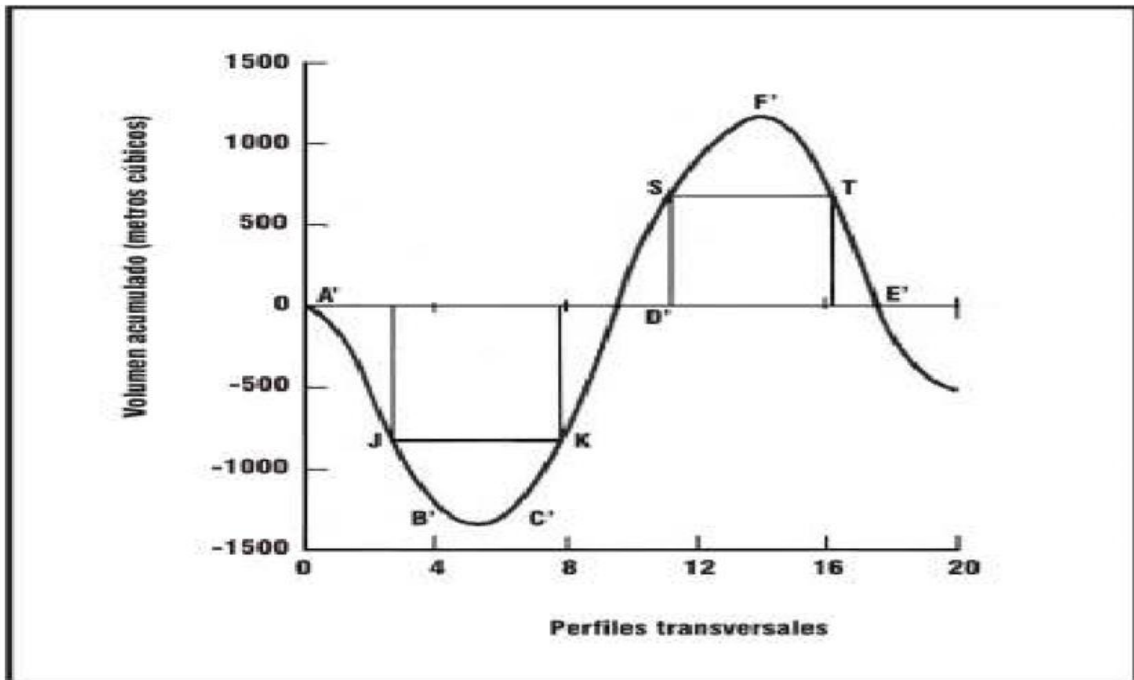
El diagrama de la curva masa es una serie de líneas unidas que describen la acumulación neta de corte o de relleno, entre dos perfiles transversales cualesquiera. La ordenada del diagrama de la curva masa es la acumulación neta en m³ desde un punto inicial arbitrario. Entonces, la diferencia de ordenadas entre dos perfiles transversales cualesquiera, representa la acumulación neta de corte o de relleno entre estos perfiles transversales si se considera que el primer perfil transversal del camino es el punto inicial, entonces la acumulación neta en este perfil transversal es cero.

A partir de la siguiente figura se pueden hacer las siguientes observaciones.

Cuando el diagrama de la curva de la masa presenta una pendiente descendente (negativa) la sección anterior es un terraplén y cuando la pendiente es ascendente (positiva) la sección anterior es un corte.

La diferencia de ordenadas en el diagrama de la curva de masa entre dos perfiles transversales cualquiera, represente la acumulación neta entre los dos perfiles transversales (corte o relleno).

Figura 21. Diagrama de curva de masa



Fuente: Manual de diseño geométrico de la A.B.C.

2.6. Diseño hidráulico

Las obras hidráulicas diseñadas deben permitir que las corrientes hídricas provenientes de lluvias de corta duración y fuerte intensidad, transiten sin mayores dificultades y sin que se produzcan daños o se corra cualquier riesgo de erosión o de inestabilidad para la obra vial.

El diseño adecuado de las obras de arte viales debe asegurar el cumplimiento de la vida útil prevista para cada una, de manera que ésta cumpla su función más eficiente en las condiciones residuales de serviciabilidad aceptables razón por la cual se considera también las medidas y acciones de protección para las obras proyectadas sean estas en el cruce de ríos, quebradas y torrentes, como a lo largo del trazado.

2.6.1. Criterios de diseño

2.6.1.1. Elección del periodo de retorno

En la elección del período de retorno, frecuencia o probabilidad a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla aceptable, dependiendo, este último, de factores económicos, sociales, ambientales, técnicos y otros.

Tabla 17. Periodo de retorno para el diseño

Tipo de obra	Tipo de ruta	Periodo de retorno (T años)		Vida útil supuesta (n años)	Riego de falla (%)	
		Diseño (3)	Verificación (4)		Diseño	Verificación
Puentes y viaductos (1)	Carretera	200	300	50	22	15
	Camino	100	150	50	40	28
Alcantarillas ($S > 1,75 \text{ m}^2$) o $H_{\text{terrap}} \geq 10 \text{ m}$ y estructuras enterradas (2)	Carretera	100	150	50	40	28
	Camino	50	100	30	45	26
Alcantarillas ($S < 1,75 \text{ m}^2$)	Carretera	50	100	50	64	40
	Camino	25	50	30	71	45
Drenaje de la plataforma	Carretera	10	25	10	65	34
	Camino	5	10	5	67	41
Defensas de riberas	Carretera	100		20	18	-
	Camino	100	-	20	18	-

Fuente: Manual de hidrología y drenaje de la A.B.C

2.6.1.2. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se define como el lapso que tarda el agua en ir desde el punto más distante hidráulicamente definido dentro la cuenca hasta el punto de evacuación o control, bajo precipitación constante.

Este parámetro naturalmente depende, entre otras variables, de la longitud máxima que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca y la velocidad promedio que adquiere en la misma, la cual a su vez varía en función de la pendiente y la rugosidad de la superficie. Como norma general, el tiempo de concentración no debe ser inferior a 10 minutos, salvo que se tengan mediciones en terreno que justifiquen adoptar valores menores.

Además, se manejaron diferentes fórmulas para luego obtener una media entre aquellos valores de tiempos de concentración más relevantes.

Tabla 18. Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración

Autor	Ecuación t_c	Unidades	Descripción
Giandotti	$t_c = \frac{4A^{1/2} + 1,5L}{0,8^{1/2}}$	H	Altura media descontando la cota de origen de la cuenca (punto de salida) (km)
		A	Área de la cuenca km ²
		L	Longitud máxima de la cuenca (m/m)
California Highway & Public work	$t_c = 0,95 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$	L	Longitud del cauce principal (km)
		tc	Tiempo de concentración (Hr)
		H	Desnivel máximo de cuenca (m)
Chereque	$t_c = \left(\frac{0,871L^3}{H}\right)^{0,385}$	Lp	Longitud del curso principal (km)
Ventura y Heras	$t_c = 0,05 \cdot \frac{\sqrt{A}}{J}$	Sp, J	Pendiente del curso principal (m/m)
Temez	$t_c = 0,126 \cdot \left(\frac{Lp}{Sp^{0,35}}\right)^{0,75}$		
Kirpich	$t_c = 0,06626 \cdot \left(\frac{Lp^2}{S}\right)^{0,385}$	H	Diferencia de cotas entre el punto más alto y el del estudio (m).
Pasini	$t_c = 0,023 \cdot \left(\frac{AL \cdot p}{Sp}\right)^{0,5}$		

Fuente: Manual de hidrología y drenaje de la A.B.C

2.6.1.3. Estimación de caudales de diseño

2.6.1.3.1. Método racional

Es utilizable en cuencas pequeñas, menores de 25 km². Supone que el escurrimiento máximo proveniente de una tormenta es proporcional a la lluvia caída, supuesto que se cumple en forma más rigurosa en cuencas mayoritariamente impermeables o en la medida que la magnitud de la lluvia crece y el área aportante se satura.

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3,6}$$

Donde:

Q = Caudal punta correspondiente a un determinado periodo de retorno (m^3/s)

I = Intensidad máxima de precipitación, correspondiente al periodo de retorno (mm/h)

A = Superficie de la cuenca (km^2)

C = Coeficiente de escurrimiento

2.6.1.3.2. Coeficiente de escurrimiento (C)

Los coeficientes de escurrimiento dependen de las características del terreno, uso y manejo del suelo, condiciones de infiltración, etc. y se necesita un criterio técnico adecuado y experiencia para seleccionar un valor representativo.

Tabla 19. Coeficientes de escurrimiento (C)

Tipo de terreno	Coeficiente de escurrimiento
Pavimentos de adoquín	0,50 – 0,70
Pavimentos asfálticos	0,70 – 0,95
Pavimentos en concreto	0,80 – 0,95
Suelo arenoso con vegetación y pendiente 2% - 7%	0,15 – 0,20
Suelo arcilloso con pasto y pendiente 2% - 7 %	0,25 – 0,65
Zonas de cultivo	0,20 – 0,40

Fuente: Manual de hidrología y drenaje de la A.B.C

2.6.1.3.3. Coeficiente de rugosidad (n)

De acuerdo al material de las alcantarillas se obtendrán los coeficientes de rugosidad de la siguiente tabla:

Tabla 20. Coeficiente de rugosidad (n)

Materiales	“n”
a) Hormigón	0,012
b) Metal corrugado	
Ondulaciones estándar (68 mm x 13 mm)	0,024
25 % revestido	0,021
Totalmente revestido	0,012
Ondulaciones medianas (76 mm x 25 mm)	0,027
25 % revestido	0,023
Totalmente revestido	0,012
Ondulaciones grandes (152 mm x 51 mm)	

Fuente: Manual de hidrología y drenaje de la A.B.C.

El estudio de drenaje de un proyecto vial, comprende de un drenaje longitudinal y un drenaje transversal los cuales se explican a continuación.

2.6.2. Drenaje transversal

El drenaje transversal de la carretera se consigue mediante alcantarillas cuya función es proporcionar un medio para que el agua superficial que escurre por cauces naturales o artificiales de moderada importancia, en forma permanente o eventual, pueda atravesar bajo la plataforma de la carretera sin causar daños a esta, riesgos al tráfico o a la propiedad adyacente. La alcantarilla debe ser capaz de soportar las cargas del tráfico en la carretera, el peso de la tierra sobre ella, las cargas durante la construcción.

2.6.2.1. Elección del tipo de alcantarilla

La adecuada elección de la ubicación, alineación y pendiente de una alcantarilla es importante, ya que de ella depende su comportamiento hidráulico, los costos de construcción y mantenimiento, la estabilidad hidráulica de la corriente natural y la seguridad de la carretera.

Las formas usuales de alcantarillas son: circulares, de cajón y múltiples. El diámetro para alcantarillas de caminos locales o de desarrollo deberá ser al menos 0,8 m, o bien 1.0 m si la longitud de la obra es mayor a 10 m.

En las demás categorías de caminos y carreteras el diámetro mínimo será de 1 m.

Los materiales más usados para las alcantarillas son el hormigón (armado in situ o prefabricado) y el acero corrugado. En la elección del material de la alcantarilla se deben tomar en cuenta la durabilidad, resistencia, rugosidad, condiciones del terreno, resistencia a la corrosión, abrasión e impermeabilidad. No es posible dar reglas generales para la elección del material ya que depende del tipo de suelo, del agua y de la disponibilidad de los materiales en el lugar. Sin embargo, deberá tenerse presente al menos lo siguiente:

Según sea la categoría de la carretera se deben considerar las siguientes vidas útiles:

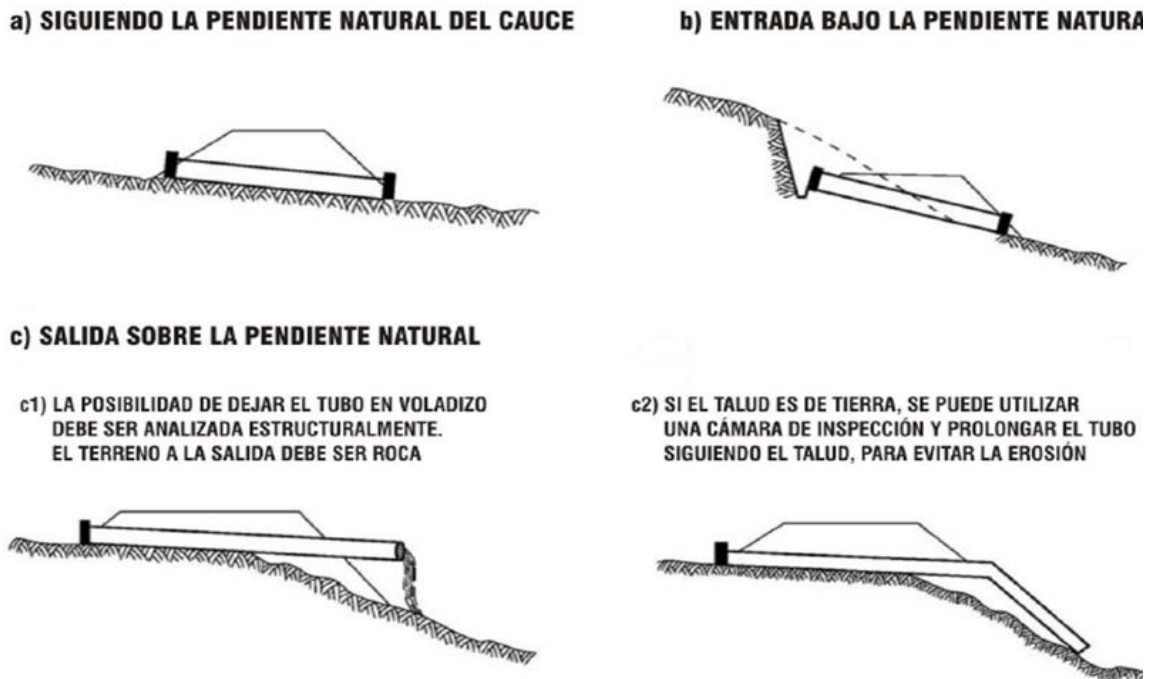
Autopistas > 50 años

Colectores y Locales > 30 años

Desarrollo > 10 años

Alcantarillas bajo terraplenes con altura superior a 5m, deberán construirse preferentemente de hormigón armado, por la dificultad que conlleva el reemplazo.

Figura 22. Ubicación de alcantarillas, respecto de la pendiente del cause



Fuente: Manual de hidrología y drenaje de la A.B.C.

2.6.2.2. Diseño del drenaje transversal

2.6.2.2.1. Alcantarillas menores

Las alcantarillas menores son aquellas que corresponden a pequeñas quebradas (torrenteras) que no tienen curso de agua permanente. Como sus cuencas de aporte son pequeñas por encontrarse ubicadas en las cabeceras de los ríos o quebradas tienen crecidas cuando se producen lluvias fuertes de corta duración y de fuerte intensidad, pero rápidamente bajan su caudal.

Por experiencia se puede apreciar que las secciones muy pequeñas, no son adecuadas para la zona; puesto que la llegada de las quebradas trae consigo una gran cantidad de material suelto que se acumula en el fondo de la alcantarilla y hace que ésta se colmate rápidamente, lo que a la larga lleva al colapso de la estructura ya que en una sección muy pequeña se dificulta considerablemente el mantenimiento y limpieza de la obra.

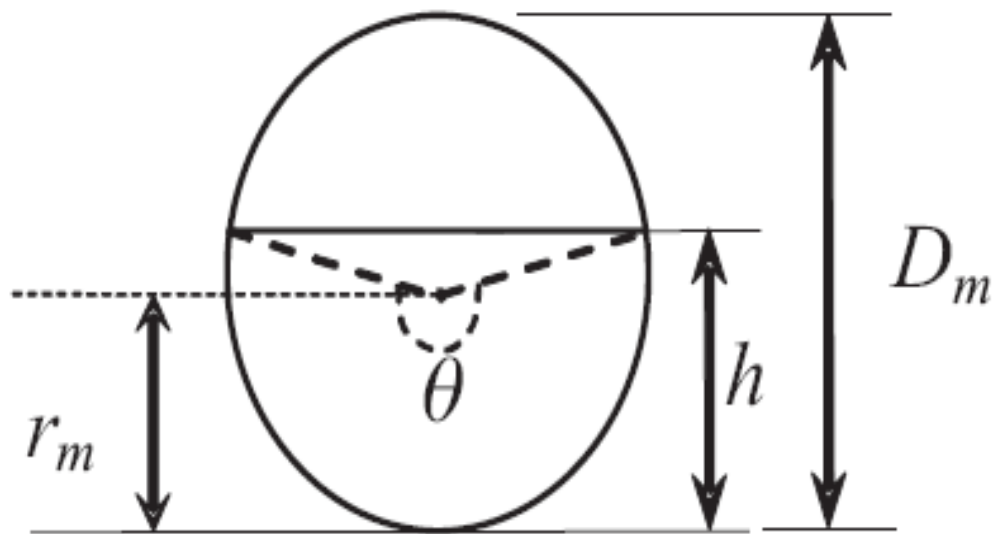
Debido a estos aspectos se adopta para el presente diseño el uso de alcantarillas de sección circular. Se plantea este tipo de alcantarilla, principalmente, por el reducido costo, ya que las alcantarillas de secciones circulares resultan casi en un 30% menos que de las secciones cajón.

2.6.2.3. Alcantarillas de alivio

Las alcantarillas de alivio del drenaje longitudinal y para proporcionar seguridad al paquete estructural, se estableció la necesidad de emplazar cada 350 m, aproximadamente, alcantarillas denominadas de alivio o de apoyo. Esta separación entre obras, se justifica en los criterios analizados en el estudio hidrológico y en las verificaciones realizadas para tormentas breves y de alta intensidad.

Si bien las alcantarillas de alivio podrían funcionar con diámetros menores, en base al criterio señalado anteriormente sobre el mantenimiento de las alcantarillas para prolongar su vida útil, se mantiene la recomendación de usar diámetro de 1 m; pues éste nos permite la circulación de una persona para poder realizar la limpieza y mantenimiento de la obra.

Figura 23. Sección transversal circular



Elaboración: propia

Ecuaciones para tuberías

$$A = \frac{D^2}{8} * (\theta_r - \text{sen } \theta)$$

$$P = \frac{\theta_r}{2} * D$$

$$\theta = 2 * \text{arc cos} \left(1 - \frac{2y}{D} \right)$$

Donde:

A = Área (m²)

D = Diámetro de la tubería (m)

P = Perímetro mojado (m)

θ = Ángulo (°)

y = Tirante de agua (m)

Para el diseño de las alcantarillas de alivio se toma en cuenta su ubicación, ya que permitirá conocer el caudal proveniente de las cunetas que evacuarán. También se determina los siguientes aspectos: material de las alcantarillas de alivio de metal corrugado (n = 0,024), pendiente longitudinal de la alcantarilla de alivio del 1% (S = 0,01) y tirante máximo igual a 75 % y mínimo de 10% del diámetro adoptado.

A continuación, se muestra el diseño hidráulico de una alcantarilla de alivio.

Alcantarilla de alivio N° 1

Fórmula racional:

Progresiva 0+028

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

C = Coeficiente de escorrentía (C = 0.40 para zonas de cultivo)

A = Área de aporte (4,60 ha)

I = Intensidad de precipitación en 10 minutos de máxima concentración (17,63 mm/hr)

Cálculo del caudal

$$Q = \frac{0.40 * 17.63 * 4.60}{360}$$

$$Q = 0.09 \text{ m}^3/\text{s}$$

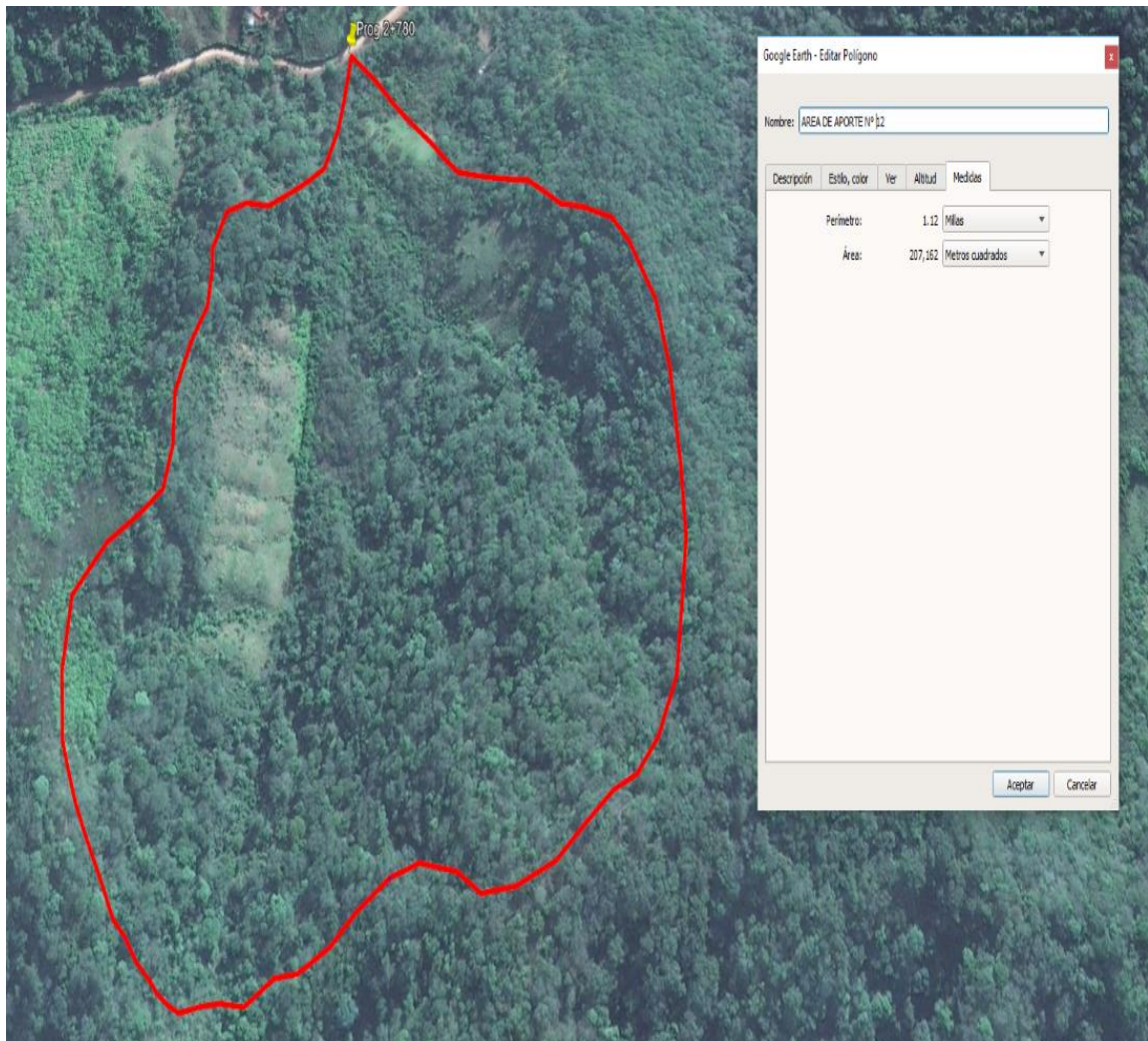
Caudal de las cunetas del tramo calculado es igual a: Q = 0.009 m³/s

Cálculo de las áreas de aporte de las alcantarillas de alivio

Durante el estudio hidraulico del presente proyecto se pudo observar distintas áreas de aporte, dichas áreas fueron determinadas mediante un software llamado Google Earth Pro, el cual nos facilito para saber especificamente cual sera el área de aporte de cada una de las alcantarillas de alivio, para luego de está manera poder calcular el caudal de diseño de cada unas de ellas.

A continuación, se puede ver un ejemplo donde se determina el área de aporte más grande de todas las alcantarillas, y cabe mencionar que de esta misma manera se determinó las áreas de todas las otras alcantarillas.

Figura 24. Área de aporte de las alcantarillas de alivio (Prog. 2+780)



Fuente: Google Earth Pro

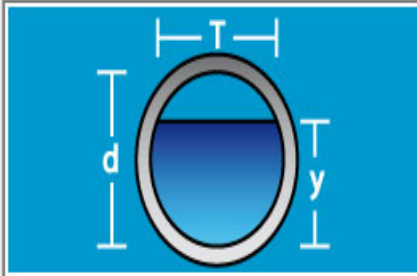
Datos de entrada para el dimensionamiento de la alcantarilla de alivio

Cuadro 21. Datos para el cálculo de las alcantarillas de alivio

Nº	Progresiva	Rio/Quebrada	Área	Caudal (Q)	Pendiente (So)	Coef. De Rugosidad
			Ha	(m3/s)	(m/m)	(n)
1	0+028.00	Alivio	4.600	0.099	0.01	0.024

Figura 25. Cálculo de la alcantarilla de alivio

Datos:

Caudal (Q):	0.099	m3/s	
Diámetro (d):	1.00	m	
Rugosidad (n):	0.024		
Pendiente (S):	0.01	m/m	

Resultados:

Tirante normal (y):	0.1868	m	Perímetro mojado (p):	0.8939	m
Área hidráulica (A):	0.1014	m ²	Radio hidráulico (R):	0.1134	m
Espejo de agua (T):	0.7795	m	Velocidad (v):	0.9764	m/s
Número de Froude (F):	0.8643		Energía específica (E):	0.2354	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico				

Fuente: H canales

Se calcula el tirante normal aplicando el programa de "H canales" de Máximo Villón Béjar, por lo cual se obtiene los siguientes resultados:

Se tiene como resultado un tirante normal de: $Y = 0.1868$ m

Se asume un borde libre igual a: $BL = 0.10$ m

Entonces el tirante normal total será igual a: $Y_n = Y + BL = 0.2868$ m

Se asume un diámetro mínimo comercial para un tubo de metal corrugado de $D = 1$ m, el cual está trabajando a 28.7% del diámetro adoptado.

Una vez realizado el cálculo de todas las alcantarillas de alivio se muestra a continuación el siguiente cuadro con todos los resultados obtenidos.

Cuadro 22. Resultados del cálculo de las alcantarillas de alivio

N°	Progresiva	Tipo de alcantarilla	Tc.	Q Total	Tirante calculado	Borde libre	Tirante adoptado	Porcentaje al cual está trabajando
			(hr)	(m3/s)	Y (m)	BL (m)	Yn (m)	(%)
1	0+028	Alivio	0.167	0.099	0.187	0.10	0.75	28.70
2	0+310	Alivio	0.167	0.351	0.354	0.10	0.75	45.40
3	0+440	Alivio	0.167	0.103	0.191	0.10	0.75	29.10
4	0+786	Alivio	0.167	0.020	0.087	0.10	0.75	18.70
5	0+905	Alivio	0.167	0.021	0.089	0.10	0.75	18.90
6	0+972	Alivio	0.167	0.036	0.115	0.10	0.75	21.50
7	1+115	Alivio	0.167	0.016	0.078	0.10	0.75	17.80
8	1+207	Alivio	0.167	0.007	0.053	0.10	0.75	15.30
9	1+330	Alivio	0.167	0.074	0.016	0.10	0.75	11.60
10	1+760	Alivio	0.167	0.035	0.113	0.10	0.75	21.30
11	2+551	Alivio	0.167	0.035	0.113	0.10	0.75	21.30
12	2+780	Alivio	0.292	0.541	0.450	0.10	0.75	55.00
13	3+960	Alivio	0.167	0.205	0.269	0.10	0.75	36.90
14	4+061	Alivio	0.167	0.136	0.219	0.10	0.75	31.90
15	4+260	Alivio	0.167	0.043	0.125	0.10	0.75	22.50
16	4+610	Alivio	0.167	0.049	0.133	0.10	0.75	23.30
17	4+720	Alivio	0.167	0.119	0.205	0.10	0.75	30.50
18	5+080	Alivio	0.167	0.342	0.350	0.10	0.75	45.00
19	5+308	Alivio	0.167	0.209	0.271	0.10	0.75	37.10
20	5+530	Alivio	0.167	0.063	0.150	0.10	0.75	25.000
21	5+700	Alivio	0.167	0.178	0.250	0.10	0.75	35.000

Fuente: Elaboración propia

Se hace notar que el resto de los cálculos de las alcantarillas de alivio se encuentran en ANEXOS 7 DISEÑO HIDRAULICO.

2.6.2.4. Alcantarillas de cruce

Las alcantarillas de cruce son diseñadas al igual que las alcantarillas de alivio, estas alcantarillas se las ubica estratégicamente en los puntos bajos donde cumpla la función de evacuar las aguas provenientes de riachuelos, quebradas y pequeños ríos, como también de algunas vertientes que se forman en épocas de lluvias.

Las alcantarillas de cruce se ubicarán a la profundidad del lecho de las quebradas en las que se encuentren.

A continuación, se muestra el diseño hidráulico de una alcantarilla de cruce.

Alcantarilla de cruce N° 1

Alcantarilla de cruce de metal corrugado Progresiva 3+470

Fórmula racional

El método de la formula racional permite realizar estimaciones de los caudales máximos de esorrentía usando las intensidades máximas de precipitación.

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

C = Coeficiente de esorrentía (C=0.40 para zonas de cultivo)

A = Área de aporte (152.08 ha)

I = Intensidad de precipitación para el tiempo de concentración calculado (28,77 mm/hr)

Cálculo del caudal

$$Q = \frac{0.40 * 28.77 * 152.08}{360}$$

$$Q = 4.86 \text{ m}^3/\text{s}$$

Datos de entrada para el dimensionamiento de la alcantarilla de alivio


Cuadro 23. Datos para el cálculo de las alcantarillas de cruce

Nº	Progresiva	Rio/Quebrada	Área	Caudal (Q)	Pendiente (So)	Coef. De Rugosidad
			Ha	(m ³ /s)	(m/m)	(n)
1	3+470.00	Quebrada	152.08	4.86	0.01	0.024

Se calcula el tirante normal aplicando el programa H canales.

Figura 26. Cálculo de la alcantarilla de cruce

Datos:

Caudal (Q):	4.86	m ³ /s	
Diámetro (d):	1.8	m	
Rugosidad (n):	0.024		
Pendiente (S):	0.01	m/m	

Resultados:

Tirante normal (y):	1.1963	m	Perímetro mojado (p):	3.4314	m
Área hidráulica (A):	1.7960	m ²	Radio hidráulico (R):	0.5234	m
Espejo de agua (T):	1.6996	m	Velocidad (v):	2.7061	m/s
Número de Froude (F):	0.8405		Energía específica (E):	1.5696	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico				

Fuente: H canales

Se tiene como resultado un tirante normal de: $Y = 1.196$ m

Se asume un borde libre igual a: $BL = 0.10$ m

Entonces el tirante normal total será igual a: $Y_n = Y + BL$

$$Y_n = 1.30 \text{ m}$$

Se asume un diámetro comercial de metal corrugado de $D = 1.80$ m.

A continuación, se muestra en siguiente cuadro con todos los resultados calculados de las alcantarillas de cruce.

Cuadro 24. Resultados del cálculo de las alcantarillas de cruce

N°	Progresiva	Río / Quebrada	Tc.	Q	Tirante Calculado	Borde libre	Tirante total	Tirante adoptado
			hr	m ³ /s	Y (m)	BL (m)	Y (m)	Yn (m)
1	3+470	Cabecera de quebrada	0.59	4.86	1.196	0.10	1.30	1.35
2	5+190	Cabecera de quebrada	0.40	2.01	0.704	0.10	0.80	1.35
3	5+750	Cabecera de quebrada	0.59	4.96	1.215	0.10	1.32	1.35

Fuente: Elaboración propia

Los cálculos completos de las alcantarillas de cruce se muestran en ANEXO 7 DISEÑO HIDRÁULICO.

2.6.3. Drenaje longitudinal

El drenaje longitudinal abarca a todas las obras que se ubican en ambos lados de la carretera y que cumplen la función de evacuar las aguas de una carretera de manera óptima, captando toda el agua que escurre por la calzada como también la de las áreas laterales; entre estas obras las más importantes son: Cunetas, zanjas de coronamiento, subdrenes longitudinales y bajantes.

El objetivo último del diseño de las obras de drenaje de la plataforma es mantener las pistas de tránsito libres de inundaciones.

Esta sección incluye el análisis de los distintos tipos de obras necesarias para recoger y eliminar las aguas que se acumulan en la plataforma de la carretera, las que pueden provenir de lluvias que caen directamente sobre la franja de expropiación de la carretera, aguas superficiales que provienen de áreas vecinas fuera de la franja de expropiación, que no son interceptadas y llegan al camino, como también aguas superficiales que llegan a la carretera en los cruces de caminos.

2.6.3.1. Diseño del drenaje longitudinal

La pendiente longitudinal mínima sugerida para las cunetas revestidas será de 0,12% y de 0,25% en aquellas sin revestir. En términos de la pendiente transversal, las cunetas de solera de 0,50 m de ancho tendrán una pendiente transversal máxima de 30% hacia la solera para aprovechar en mejor forma la capacidad de la cuneta y la eficiencia de los sumideros. Para cunetas de ancho superior a 0,50 m, la pendiente transversal no será menor que 8%.

La capacidad hidráulica de las cunetas triangulares se puede calcular empleando la ecuación de Manning, expresada de la siguiente manera:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Donde:

n = Coeficiente de rugosidad de manning

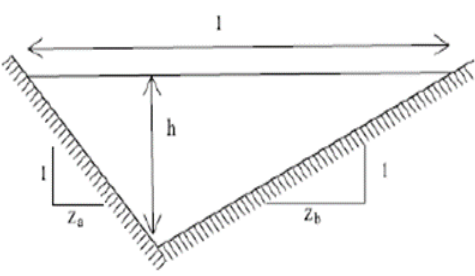
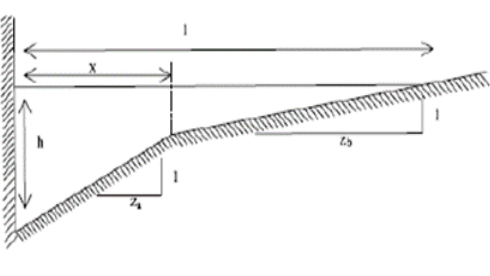
A = Área de la sección (m²)

R = Radio hidráulico del escurrimiento (razón entre el área y el perímetro mojado)

S = Pendiente longitudinal (m/m)

Las propiedades geométricas e hidráulicas de la cuneta se pueden determinar empleando las fórmulas presentadas en la siguiente tabla.

Tabla 21. Capacidad hidráulica de cunetas y canales triangulares

Tipo de Cuneta o Canal	
	
Ancho Superficial (l)	$(z_a + z_b) \cdot h$
Area (π)	$x \cdot h + \frac{z_b \cdot h^2}{2} + \frac{x^2}{2 \cdot z_a} \cdot \left(\frac{z_b}{z_a} - \frac{2 \cdot z_b \cdot h}{x} - 1 \right)$
Perímetro Mojado (P)	$\left(\sqrt{1 + z_a^2} + \sqrt{1 + z_b^2} \right) \cdot h$
Radio Hidráulico (R)	$\frac{x \cdot h + \frac{z_b \cdot h^2}{2} + \frac{x^2}{2 \cdot z_a} \cdot \left(\frac{z_b}{z_a} - \frac{2 \cdot z_b \cdot h}{x} - 1 \right)}{h + \sqrt{x^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{z_a^2} \right)} + \sqrt{z_b^2 + 1} \cdot \left(h - \frac{x}{z_a} \right)}$

Fuente: Manual de hidrología y drenaje de la A.B.C.

Para el caso específico del proyecto en estudio, el diseño fue realizado simulando las condiciones que se describen en los siguientes párrafos, las mismas que reflejan las situaciones en las cuales trabajará el drenaje longitudinal de la vía.

2.6.3.2. Diseño de cunetas

El drenaje longitudinal comprende básicamente dos secciones tipo, una triangular para cunetas y otra trapezoidal para zanjas de coronamiento.

Por ser obras de canalización y evacuación de aguas producidas por precipitación, las cunetas que se diseñan no serán en todo el tramo sino en lugares estratégicos donde sea insuficiente el escurrimiento propio por gravedad a los bordes del terreno.

Debido a la facilidad constructiva, considerando que el drenaje longitudinal será construido paralelamente al paquete estructural, se adopta una sección de tipo triangular con taludes asimétricos 1:1 y 1:2, es decir con un ángulo de 90° entre paredes laterales como se muestra en la siguiente figura.

Figura 27. Sección de diseño tipo de cuneta de corte



Fuente: Elaboración propia

El procedimiento para el diseño de cunetas es el siguiente:

Se elige la sección tipo.

De acuerdo al tipo de terreno, se elige el revestimiento y el coeficiente de Manning.

Se define la pendiente, relacionada con la pendiente de la carretera.

Con estos datos definidos, se asume un valor de tirante esperado para realizar la verificación tanto de la capacidad de la sección como de los valores de velocidad, cuidando de no tener velocidades erosivas.

De acuerdo a las condiciones hidráulicas asumidas para el diseño del drenaje, se adopta el Coeficiente Manning, que depende de las propiedades de los materiales; en la siguiente tabla se muestra los diferentes valores asignados al Coeficiente de Manning.

Tabla 22. Valores del coeficiente de Manning

Material	Coeficiente de Manning (n)
Arena fina	0,020 - 0,030
Sedimento aluvial	0,020 - 0,030
Barro firme ordinario	0,020 - 0,030
Arcilla firme	0,020
Grava fina – gruesa	0,020
Pizarras suaves	0,020
Cunetas recubiertas con tepes	0,020
Cunetas zampeadas	0,015
Revestidas de hormigón	0,015
Roca firme	0,012

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos Ven The Chow

En caso de producirse velocidades erosivas se deberá mejorar las condiciones, incrementando el tirante esperado y se vuelve a verificar.

Tabla 23. Velocidades máximas recomendadas

Material	Velocidad máxima (m/s)
Arena fina	0,5
Sedimento aluvial	0,6
Barro firme ordinario	0,7
Arcilla firme	1,3
Grava fina – gruesa	1,3
Pizarras suaves	1,5
Cunetas recubiertas con tepes	1,5
Cunetas zampeadas	3,5
Revestidas de hormigón	4,0
Roca firme	4,5

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos -Ven The Chow

El caso particular es que la vía se encuentra en diferentes tipos de terreno, por lo cual se aplican las siguientes ecuaciones:

Coefficiente de escorrentía ponderado

$$C_{ponderada} = \frac{c_1 * A_1 + c_2 * A_2 + C_3 * A_2 \dots \dots \dots C_n * A_n}{A_{total}}$$

Método racional

$$Q = \frac{c * I * A}{3,6}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

I = Intensidad de la lluvia (mm/h)

C = Coeficiente de escorrentía

A = Área de aporte (km²)

Determinación de la sección hidráulica

$$Q = \frac{A}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Área de la sección triangular

$$A = \frac{(Za + Zb) * h^2}{2}$$

Perímetro de la sección transversal

$$P = \left(\sqrt{1 + Za^2} + \sqrt{1 + Zb^2} \right) * h$$

Donde:

Q = Caudal (m³)

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente de la cuneta (m/m)

A = Área de la cuenca (km²)

Za = Zb = Talud de la cuneta

A continuación, se presenta el diseño hidráulico de una cuneta.

Cuadro 25. Datos del cálculo hidráulico de la cuneta

Cuneta 12

Progresivas			
P. Inicial	P. Final	Longitud	Lado
2+780.00	3+394.00	614	Izquierdo

Datos

Parámetros	Cantidad	Unidad
Ancho de carril (a)	3.00	(m)
Intensidad (I)	15.99	(mm/hr)
Coef. de escurrimiento de la calzada (C1)	0.95	
Coef. de escurrimiento del terreno natural (C2)	0.40	
Derecho de vía (Dv)	30.00	(m)
Coef. de rugosidad de hormigón (n)	0.012	
Pendiente de la cuneta (S)	0.05	(m/m)

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 26. Cálculo de diseño de la cuenta

Cálculos		
Coef. de escurrimiento ponderado (Cp)	0.46	
Área de la calzada (A1)	1842.00	(m ²)
Área del terreno natural (A2)	16578.00	(m ²)
Área total	18420.00	(m ²)
Área total	0.01842	(km ²)
Caudal de diseño (Q)	0.0372	(m ³ /s)

Fuente: Elaboración propia

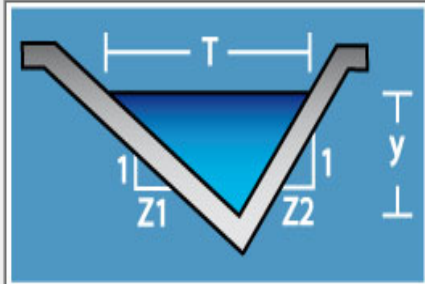
Se calcula el tirante aplicando el programa de "HCANALES" de (Máximo Villón Béjar).

Figura 28. Cálculo de los parámetros de una cuneta

Lugar:	NARANJOS-SERERE LIMAL	Proyecto:	DISEÑO DE INGENIERÍA
Tramo:		Revestimiento:	HORMIGON

Datos:

Caudal (Q):	0.0372	m ³ /s
Ancho de solera (b):	0	m
Talud 1 (Z1):	2	
Talud 2 (Z2):	1	
Rugosidad (n):	0.012	
Pendiente (S):	0.05	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	0.1043	m	Perímetro (p):	0.3806	m
Área hidráulica (A):	0.0163	m ²	Radio hidráulico (R):	0.0428	m
Espejo de agua (T):	0.3128	m	Velocidad (v):	2.2815	m/s
Número de Froude (F):	3.1904		Energía específica (E):	0.3696	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico				

Fuente: H canales

De esta manera, se obtiene el tirante normal que es igual a: $Y = 0.1043$ m

Borde libre

$$BL = \frac{1}{3} * Y = \frac{1}{3} * 0.1043 = 0.035 \text{ m}$$

$$Yn = Y + BL = 0.1043 + 0.035 = 0.14 \text{ m}$$

Nota: Se toma el área de aporte más grande en todo el diseño, y como la pendiente es menor a la normada del 5%, se trabaja con dicha pendiente; se concluye que la sección triangular de cuneta calculada será para todo el diseño la misma.

A continuación, se muestra un cuadro resumen de todas las cunetas calculadas con su respectiva longitud.

Cuadro 27. Resumen de las cunetas

Lado izquierdo				Lado derecho			
Nº	P. Inicial	P. Final	Longitud	Nº	P. Inicial	P. Final	Longitud
1	0+028	0+178	150.00	1	0+028	0+178	150.00
2	0+248	0+310	62.00				
				2	0+326	0+396	70.00
3	0+440	0+725	285.00	3	0+440	0+535	95.00
				4	0+540	0+720	180.00
4	0+786	0+843	57.00				
5	0+905	0+956	51.00				
6	0+972	1+006	34.00				
7	1+115	1+202	87.00	5	1+115	1+202	87.00
8	1+207	1+233	26.00	6	1+207	1+252	45.00
9	1+330	1+351	21.00				
10	1+405	1+760	355.00	7	1+420	1+760	340.00
				8	1+805	1+822	17.00
11	2+302	2+551	249.00	9	2+340	2+551	211.00
12	2+780	3+394	614.00	10	2+780	3+394	614.00
13	3+610	3+960	350.00	11	3+610	3+960	350.00
14	4+014	4+061	47.00	12	4+014	4+061	47.00
15	4+260	4+460	200.00	13	4+260	4+460	200.00
16	4+610	4+710	100.00	14	4+610	4+710	100.00
17	4+720	4+900	180.00	15	4+720	4+900	180.00
18	4+920	5+080	160.00	16	4+920	5+080	160.00
19	5+246	5+308	62.00	17	5+260	5+308	48.00
20	5+462	5+530	68.00	18	5+462	5+530	68.00
21	5+636	5+700	64.00	19	5+636	5+700	64.00

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el siguiente cuadro con todos los resultados obtenidos y se hace notar que el cálculo completo a detalle de todas las cunetas se presenta en ANEXOS 7 DISEÑO HIDRAULICO.

Cuadro 28. Resultados del cálculo de las cunetas (lado derecho)

N°	P. Inicial	P. Final	Longitud	Caudal (Q)	Tirante Calculado (Y)	Borde libre (BL)	Tirante total (Yn)	Altura de la cuneta adoptada
	(km)	(km)	(m)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	0+028	0+178	150.00	0.0091	0.0620	0.021	0.09	0.20
2	0+326	0+396	70.00	0.0040	0.0450	0.015	0.06	0.20
3	0+440	0+535	95.00	0.0058	0.0520	0.017	0.07	0.20
4	0+540	0+720	180.00	0.0110	0.0280	0.009	0.04	0.20
5	1+115	1+202	87.00	0.0053	0.0500	0.017	0.07	0.20
6	1+207	1+252	45.00	0.0030	0.0410	0.014	0.06	0.20
7	1+420	1+760	340.00	0.0206	0.1100	0.037	0.15	0.20
8	1+805	1+822	17.00	0.0010	0.0300	0.010	0.04	0.20
9	2+340	2+551	211.00	0.0128	0.0700	0.023	0.10	0.20
10	2+780	3+394	614.00	0.0370	0.1040	0.035	0.14	0.20
11	3+610	3+960	350.00	0.0212	0.0840	0.028	0.12	0.20
12	4+014	4+061	47.00	0.0030	0.0410	0.014	0.06	0.20
13	4+260	4+460	200.00	0.0121	0.0680	0.023	0.10	0.20
14	4+610	4+710	100.00	0.0060	0.0530	0.018	0.08	0.20
15	4+720	4+900	180.00	0.0109	0.0660	0.022	0.09	0.20
16	4+920	5+080	160.00	0.0100	0.0640	0.021	0.09	0.20
17	5+260	5+308	48.00	0.0029	0.0400	0.013	0.06	0.20
18	5+462	5+530	68.00	0.0040	0.0450	0.015	0.06	0.20
19	5+636	5+700	64.00	0.0039	0.0866	0.029	0.12	0.20

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 29. Resultados del cálculo de las cuentas (lado izquierdo)

N°	P. Inicial	P. Final	Longitud	Caudal (Q)	Tirante Calculado (Y)	Borde libre (BL)	Tirante total (Yn)	Altura de la cuneta adoptada
	(km)	(km)	(m)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	0+028	0+178	150.00	0.0091	0.0620	0.021	0.09	0.20
2	0+248	0+310	62.00	0.0038	0.0440	0.015	0.06	0.20
3	0+440	0+725	285.00	0.0173	0.0780	0.026	0.11	0.20
4	0+786	0+843	57.00	0.0035	0.0430	0.014	0.06	0.20
5	0+905	0+956	51.00	0.0031	0.0410	0.014	0.06	0.20
6	0+972	1+006	34.00	0.0021	0.0360	0.012	0.05	0.20
7	1+115	1+202	87.00	0.0053	0.0500	0.017	0.07	0.20
8	1+207	1+233	26.00	0.0016	0.0320	0.011	0.05	0.20
9	1+330	1+351	21.00	0.0013	0.0300	0.010	0.04	0.20
10	1+405	1+760	355.00	0.0215	0.0850	0.028	0.12	0.20
11	2+302	2+551	249.00	0.0151	0.0740	0.025	0.10	0.20
12	2+780	3+394	614.00	0.0372	0.1040	0.035	0.14	0.20
13	3+610	3+960	350.00	0.0212	0.0840	0.028	0.12	0.20
14	4+014	4+061	47.00	0.0028	0.0400	0.013	0.06	0.20
15	4+260	4+460	200.00	0.0121	0.0680	0.023	0.10	0.20
16	4+610	4+710	100.00	0.0061	0.0530	0.018	0.08	0.20
17	4+720	4+900	180.00	0.0109	0.0660	0.022	0.09	0.20
18	4+920	5+080	160.00	0.0097	0.0630	0.021	0.09	0.20
19	5+246	5+308	62.00	0.0038	0.0440	0.015	0.06	0.20
20	5+462	5+530	68.00	0.0041	0.0460	0.015	0.07	0.20
21	5+636	5+700	64.00	0.0039	0.0450	0.015	0.06	0.20

Fuente: Elaboración propia

2.7. Diseño estructural

La alternativa de diseño estructural para el siguiente proyecto es diseño de camino con pavimento flexible basado en el método AASTHO 93.

El diseño para el pavimento flexible según la AASTHO 93 está basado en la determinación del Número Estructural “SN” que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto.

A continuación, se describen los parámetros que se consideran en el método AASTHO:

2.7.1. Parámetros de entrada para el diseño

Los parámetros de entrada comunes al diseño para el pavimento flexible son:

Características geotécnicas de la subrasante

El espesor del pavimento depende fundamentalmente de la subrasante por lo que esta debe cumplir con los requisitos de consistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

El material de la subrasante tiene que estar libre de vegetación y materia orgánica, en general los materiales apropiados para la subrasante, son los suelos de preferencia granulares.

Análisis de tránsito

El tráfico es uno de los parámetros más importantes para el diseño de pavimentos. Para obtener este dato es necesario determinar el número de repeticiones de cada tipo de eje durante el periodo de diseño, a partir de un tráfico inicial medido en el campo a través de aforos.

Composición del tráfico y número de ejes equivalentes ESALs

En el método AASTHO, los pavimentos se proyectan para que resistan un determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes. El efecto de estos ejes es acumulativo durante la vida del pavimento, ya que este fallará por fatiga a causa de un cierto número de repeticiones de cargas.

De una manera simple, podríamos definir el número acumulado de ESALs como un valor que representa a la totalidad del tráfico considerando los diferentes tipos de vehículos, configuración de ejes y llantas, convertidos a un número equivalente de ejes simples cuyo peso es de 18,000 lb. (80 KN). En el ensayo de carreteras de AASTHO.

Periodo de diseño

Se define como el tiempo elegido al iniciar el diseño, para el cual se determinan las características del pavimento, evaluando su comportamiento para distintas alternativas a largo plazo, con el fin de satisfacer las exigencias del servicio durante el periodo de diseño elegido, a un costo razonable.

Generalmente el periodo de diseño será mayor al de la vida útil del pavimento, porque incluye en el análisis al menos una rehabilitación o recrecimiento, por lo tanto, éste será superior a 20 años.

Tabla 24. Periodos de análisis o periodo de diseño

Tipo de camino	Periodo de análisis
Gran volumen de tránsito urbano	30-50 años
Gran volumen de tránsito rural	(20)-50 años
Bajo volumen pavimentado	15-25 años

Fuente: Diseño de Pavimentos – AASHTO 93.

2.7.2. Diseño del pavimento flexible

El propósito estructural de un pavimento flexible es distribuir las cargas de las llantas, aplicadas en áreas pequeñas, en áreas más grandes sobre el suelo de fundación, para prevenir esfuerzos excesivos. La funcionalidad está dirigida a los requerimientos de los usuarios de tener buenas condiciones de viaje.

Con la siguiente fórmula de diseño se obtiene el número estructural SN y en función del mismo se determinan los distintos espesores de capas que forman el paquete estructural.

Para el método de AASHTO la fórmula de diseño es:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log(\Delta PSI)}{4,2 - 1,5} + 2,32 \log M_R - 8,07$$
$$0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}$$

Dónde:

W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 KN) previstas

Z_R = Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R

S_o = Desviación estándar de todas las variables

Δ PSI = Pérdida de serviciabilidad

MR = Módulo de resiliente de la subrasante (psi)

SN = Número estructural (pulg)

Se describen continuación las variables a considerar en el diseño de un pavimento flexible según el método AASHTO.

2.7.2.1. Cálculo del número de ejes equivalentes

A partir del estudio de tráfico, se puede indicar la siguiente configuración de ejes de los vehículos:

SD: Simple Dual

Eje Simple: (S) o (SD)

Eje Tándem: (T)

Tabla 25. Configuración de ejes de los vehículos

Vehículo		Configuración de Ejes			
Automóviles	(11)	S	S		
Camionetas	(11)	S	S		
Jeep, vagonetas	(11)	S	S		
Minibús	(11)	S	S		
Micro hasta 21 asientos	(11)	S	S		
Bus mediano	(11)	S	SD		
Bus grande	(12)	S	D		
Camión pequeño	(11)	S	S		
Camión mediano	(11)	S	SD		
Camión grande	(12)	S	D		
Camión con acoplado	(12:11)	S	D	SD	SD
Otros	(11)	S	S		

Fuente: Elaboración propia en función del estudio de Tráfico

Según el Decreto Supremo N° 25629, en el que se aprueba el reglamento de la ley de cargas N° 1769 referente a pesos y dimensiones para vehículos de transporte de carga o pasajeros que circulan en el territorio nacional, se tienen los siguientes límites de cargas:

Tabla 26. Límites de Cargas según ley de cargas N°1769

Carga Máxima para Eje sencillo de 2 llantas	7.00 ton
Carga Máxima para Eje sencillo de 4 llantas doble	11.00 ton
Carga Máxima para Eje doble de 8 llantas	18.00 ton
Carga Máxima para Eje doble de 4 llantas	10.00 ton
Carga Máxima para Eje doble de 6 llantas	14.00 ton
Carga Máxima para Eje triple de 12 llantas	25.00 ton
Carga Máxima para Eje triple de 6 llantas	17.00 ton
Carga Máxima para Eje triple de 10 llantas	21.00 ton

Fuente: Decreto supremo N° 25623

Pese a que los vehículos livianos tienen poca influencia en la determinación del número total de Ejes Equivalentes para el diseño de pavimentos, estos han sido considerados, asumiendo tonelajes normalmente utilizados en proyectos de carreteras en nuestro medio.

Tabla 27. Cargas por ejes de flota vehicular

Vehículo	Eje delantero	Eje trasero	Semirremolque	Remolque
Automóviles	0.7	0.8		
Camionetas	1.0	1.0		
Jeep, vagonetas	0.7	0.8		
Minibuses	3.0	4.0		
Microbuses	3.0	6.2		
Buses Medianos	7.0	11.0		
Buses Grandes	7.0	14.0		
Camiones pequeños	7.0	7.0		
Camiones Medianos	7.0	11.0		
Camiones Grandes	7.0	18.0		
Camiones con acoplado	7.0	14.0	11.0	11.0

Fuente: Decreto supremo N° 25623

A partir de esta estimación, se determinan los factores de equivalencia de carga y factor camión para cada tipo de vehículo permitiendo así estimar los ejes equivalentes acumulados necesarios para el diseño.

Con estos datos de tipo de vehículo y límites de cargas por eje (Ley de Cargas), obtenemos el Factor de Carga Equivalente, el cual se muestra a continuación.

Cuadro 30. Tráfico promedio diario anual

Tipo de vehículo	TPD (veh/día)	Porcentaje (%) TPD	Índice de crecimiento (IC)	Factor de carga equiv. (FCE)
Livianos	105	68.6	5.18	0.0265
Medianos	42	27.5	5.18	1.1329
Pesados	6	3.9	5.18	1.5531
Total	153	100.0		

Fuente: Elaboración propia

Entonces con los datos completos aplicamos la fórmula:

Se tiene el siguiente cuadro de resultados.

$$W_{18} = \sum (TPD)_i * (FC)_i * (FCE)_i * 365$$

Donde:

W18 = Número de ejes equivalentes.

(TPD)_i = Tráfico promedio diario.

(FC)_i = Factor de crecimiento.

(IC)_i = Índice de crecimiento.

N = Número de años hasta el periodo de diseño (20 años).

(FCE)_i = Factor de carga equivalente.

Cuadro 31. Resultados del total de ejes equivalentes (W18)

Tipo de vehículo	Número de ejes equivalentes
Livianos	37016.83
Medianos	633001.74
Pesados	123969.46
Total de ejes equivalentes	793988.02

Fuente: Elaboración propia

2.7.2.2. Confiabilidad

Se refiere al grado de certidumbre de que un diseño dado puede llegar al fin de su periodo de análisis en buenas condiciones o también es la probabilidad de que el sistema estructural que forme el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones (medio ambiente) que tiene lugar en ese lapso.

Tabla 28. Niveles de confianza sugeridos por la AASHTO

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Autopistas interestatales y otras	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias colectoras	80 – 99	75 – 99
Colectoras de tránsito	80 – 95	75 – 95
Carreteras Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Diseño de Pavimentos – AASHTO 93.

Confiabilidad = 60%.

2.7.2.3. Desviación estándar normalizada Z_R

La desviación estándar normalizada Z_R representa la abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

La distribución normal es útil para estudiar los efectos de la variabilidad en el rendimiento y el diseño de pavimentos.

En la siguiente tabla obtenida de la Guía AASHTO se muestra los valores de la desviación estándar normal Z_R correspondientes a valores seleccionados de confiabilidad.

Tabla 29. Valores de desviación estándar normalizada

Confiabilidad	Valor de Z_R	Confiabilidad	Valor de Z_R
50	-0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.34	99.9	-3.09
92	-1.405	99.99	-3.75

Fuente: Diseño de Pavimentos – AASHTO 93

$$Z_R = -0.253$$

2.7.2.4. Desviación estándar global "So"

La desviación estándar global (S_o) tomo en cuenta todos los errores o variabilidad asociada con los datos del diseño y construcción, incluyendo la variabilidad en las propiedades de los materiales, propiedades del suelo de fundación, estimaciones del tráfico, condiciones climáticas y calidad de construcción. Idealmente, estos valores deberían estar basados en condiciones locales, sin embargo, en la ausencia de otros valores la Guía de Diseño AASHTO provee valores recomendados. Para el caso de la variación del tráfico futuro proyectado no está considerada, la Guía AASHTO recomienda un valor:

$$S_o = 0.44$$

2.7.2.5. Serviciabilidad

La serviciabilidad es la capacidad de un pavimento para servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño de pavimentos se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La serviciabilidad inicial P_o está en función del diseño del pavimento y de la calidad de construcción. La serviciabilidad final o terminal P_t está en función de la

categoría del camino y es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados por la AASHTO 93 están indicados a continuación:

Serviciabilidad inicial

Po = 4.2 para pavimentos flexibles.

Serviciabilidad final

Pt = 2.0 para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas.

Una vez que Po y Pt son establecidos, la pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño Δ PSI se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t = 4.2 - 2 = 2.2$$

2.7.2.6. Módulo resiliente

La base para la caracterización de los materiales de subrasante en este método, es el módulo resiliente o elástico. Este módulo se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y, por tal motivo, se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos como por ejemplo el CBR.

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

Para materiales de subrasante con CBR igual o menor a 7.2 %.

$$\text{MR} = 1500 * \text{CBR (Psi)}$$

Para materiales de subrasante con CBR mayor de 7.2% pero menor o igual a 20.0%.

$$\text{MR} = 3000 * \text{CBR}^{0.65} \text{ (Psi)}$$

Para materiales de subrasante con valores de CBR mayores a 20.0% se deberán emplear otras formas de correlación, tal como la recomendada por la propia guía de diseño AASHTO – 93:

$$\text{MR} = 4326 * \ln \text{CBR} + 241 \text{ (Psi)}$$

En la guía AASHTO se menciona que ante la imposibilidad de contar con los equipos para realizar ensayos con el número de resiliente, se puede utilizar la correlación establecida por el Corps of Engineers con el CBR:

$$\text{MR} = 1500 * \text{CBR (Psi)}$$

2.7.2.7. Diseño de espesores

El método a utilizar para el cálculo del paquete estructural es el MÉTODO DE LA AASHTO 93 el cual se detalla a continuación.

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\frac{\log(\Delta PSI)}{4,2 - 1,5}}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log M_R - 8,07$$

Dónde:

W18 = Número de cargas de 18 kips (80 KN) previstas.

ZR = Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

So = Desviación estándar de todas las variables.

Δ PSI = Pérdida de serviciabilidad.

MR = Módulo de resiliente de la subrasante (psi).

SN = Número estructural (pulg).

Iterando la formula anteriormente mencionada se puede obtener los valores del SN de las distintas capas del paquete estructural basados en los CBR de una de esas capas.

Log W18 =	5.90	= 5.86
Subrasante	SN	= 2.369 pulg.
Log W18 =	5.90	= 5.86
Subbase	SN	= 1.649 pulg.
Log W18 =	5.90	= 5.86
Base	SN	= 1.258 pulg.

2.7.2.8. Coeficientes de drenaje

En el método AASHTO los coeficientes de capa se ajustan a los factores mayores o menores que la unidad para tener en cuenta el drenaje y el tiempo en que las capas granulares están sometidas a niveles de humedad próximos a la saturación.

Un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante (el módulo resiliente aumenta cuando baja el contenido de humedad), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas.

Las siguientes recomendaciones están basadas en el tiempo requerido para drenar la capa de base hasta un grado de saturación del 50%. Sin embargo, el criterio del 85% de saturación reduce en forma significativa el tiempo real usado para seleccionar la calidad del drenaje.

Tabla 30. Tiempos de drenaje recomendados por AASHTO

Calidad de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Más de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Fuente: Diseño de Pavimentos – AASHTO 93.

La calidad del drenaje es expresada en la fórmula del número estructural, por medio del coeficiente de drenaje (m) que toma en cuenta las capas no ligadas. A continuación, tenemos los coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles:

Tabla 31. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1 – 5%	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Bueno	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Pobre	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Muy pobre	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Fuente: Diseño de Pavimentos – AASHTO 93.

$$m_2 = 0.6 \text{ y } m_3 = 0.60$$

Una vez presentado la ecuación de diseño para pavimentos flexibles y las variables de entrada. La ecuación puede ser resuelta en forma manual, lo cual es muy tedioso, o por medio de ábacos, que es mucho más rápido, aunque menos preciso por los errores al trazar las líneas con lápiz.

La siguiente ecuación puede utilizarse para obtener los espesores de cada capa, para la superficie de rodamiento o carpeta, base y subbase, cabe destacar que el actual método de AASHTO, ya involucra coeficientes de drenaje particulares para la base y subbase.

La expresión que liga el número estructural con los espesores de capa es:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Donde:

SN = Número estructural requerido

a_1 , a_2 y a_3 = Coeficientes de capa representativos de carpeta, base y subbase

D_1 , D_2 y D_3 = Espesor de la carpeta, base y subbase respectivamente en pulgadas

m_2 y m_3 = Coeficientes de drenaje para base y subbase, respectivamente

El coeficiente estructural de una capa representa la relación empírica entre el número estructural SN y el espesor de dicha capa, siendo una medida de la capacidad relativa del material para actuar como componente estructural de un pavimento dado.

El método AASHTO presenta diversas formas para obtener el valor del coeficiente estructural, en general a través de la correlación con otras propiedades mecánicas de los materiales (CBR, Modulo resiliente, etc.). Los coeficientes es posible determinar mediante ábacos o expresiones matemáticas. A continuación, se presenta valores recomendados para cada caso.

Carpeta asfáltica $a_1 = 0.44$

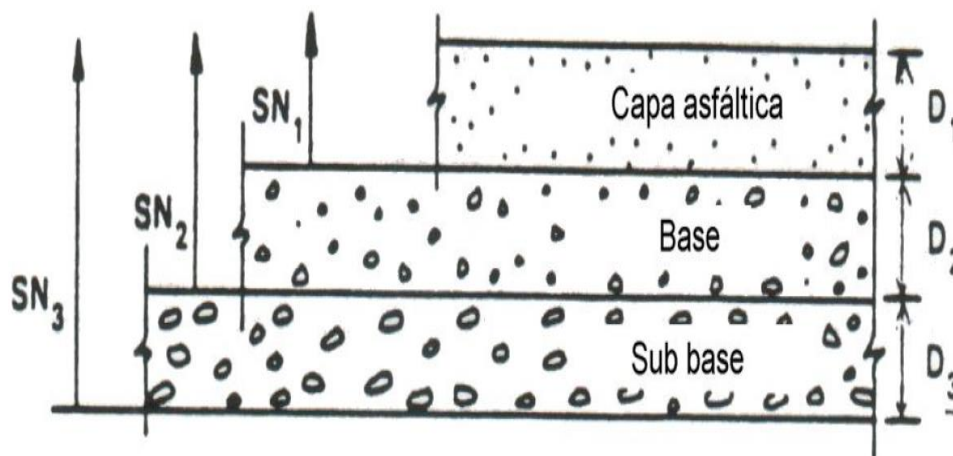
Bases granulares $a_2 = 0.14$

Sub bases granulares $a_3 = 0.11$

Todos estos valores fueron obtenidos de "Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO-93".

Siendo el pavimento un sistema multicapa, la distribución de los espesores debe efectuarse de acuerdo con los principios que muestra la siguiente figura.

Figura 29. Procedimiento para determinar espesores mínimos de capas



Fuente: Diseño de Pavimentos – AASHTO 93

Esta metodología se basa en el concepto de que las capas granulares no tratadas deben estar protegidas de tensiones verticales excesivas que les producirían deformaciones permanentes. El proceso se explica a continuación:

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1^* = a_1 D_1 > SN_1$$

$$D_2^* = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2}$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$$

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN \text{ Verificación}$$

Donde:

a_1, a_2, a_3 = Son los coeficientes estructurales o de capa, adimensionales.

m_1, m_2, m_3 = Son los coeficientes de drenaje.

D_1, D_2, D_3 = Son los espesores de capas, en pulgadas o milímetros, el número estructural llevará las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento.

Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores de capas sobre otras que tengan un módulo resiliente mayor a 280 MPa (40000 psi).

Parámetros de diseño

Serviciabilidad inicial (P_o) = 4.2 para pavimentos flexibles.

Serviciabilidad final (P_t) = 2.0 para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas.

$$\Delta PSI = P_o - P_t = 4.2 - 2 = 2.2$$

Confiabilidad (R) = 60%

Desviación estándar (S_o) = 0,44 para pavimentos flexibles.

Número de ejes equivalentes ESALs = 793988 (para 20 de años de diseño)

Desviación estándar normalizada $Z_R = -0.253$ para una confiabilidad de 60%

Módulo de resiliencia de la subrasante (M_R) = $3000 * 7^{0.65} = 10627.59$ Psi

Se hace notar que después de haber hecho el estudio geotécnico se pudo observar que se contaba con dos tipos de suelo en todo el tramo de diseño, los cuales fueron: A-2-4 con un CBR mínimo de 15% y A-4 con un CBR de 7%. Siendo este último el cual se utilizó para el diseño de todo el paquete estructural, debido a que es el más desfavorable de los dos tipos de suelo que teníamos. También se debe aclarar que ese diseño se utilizó para todo el tramo que se desea construir.

A continuación, se muestra el siguiente cuadro con los distintos espesores del paquete estructural.

Cuadro 32. Resultados del diseño del paquete estructural

Capa		(plg)	(cm)	Recomendado	espesor a usar
Rodadura	D1	2.9	7.25	5 – 7.5	6
Base	D2	4.5	11.25	≥ 10	12
Subbase	D3	10.9	27.25	>30 rasante mejorada	28

Fuente: Elaboración propia

El cálculo completo de las diferentes capas del paquete estructural para los dos tipos de CBR que se encontró en todo el tramo en estudio se puede ver en ANEXO 6 DISEÑO ESTRUCTURAL.

2.8. Señalización

Para lograr una operación adecuada del camino en estudio, es fundamental la implementación de la señalización vial y los correspondientes dispositivos de control de tránsito. La circulación vehicular y peatonal debe ser guiada y regulada, con el fin de que pueda llevarse en forma segura, fluida, ordenada y cómoda.

Por medio de la señalización se indica a los usuarios de las vías, la forma correcta y segura de transitar por ésta, con el único propósito de evitar riesgos y disminuir los accidentes.

Por tanto, es importante conocer los criterios técnicos básicos para el diseño de los dispositivos de control de tránsito; para ello, se tomará como base del estudio al Manual de Dispositivos para el control de Tránsito de la Administradora Boliviana de Carreteras.

El propósito del señalamiento vial y los dispositivos de control de tránsito, es el de facilitar y garantizar el movimiento ordenado, seguro y predecible de los usuarios de la vía a través de toda la carretera, sean estos flujos automotores, peatonales o de otra índole.

2.8.1. Requisitos que deben cumplir los dispositivos de control de tránsito

De acuerdo al Manual guía de la ABC, todo dispositivo para el control del tránsito deberá satisfacer los siguientes requisitos fundamentales para cumplir integralmente su objetivo:

Debe ser necesaria. Satisfacer una necesidad para el adecuado desenvolvimiento del tránsito.

Debe ser visible y llamar la atención. Atraer la atención del usuario.

Debe ser legible y fácil de entender. Transmitir un mensaje claro y sencillo.

Debe infundir respeto. Infundir respeto a los usuarios de la vía.

Debe dar tiempo suficiente al usuario para responder adecuadamente. Permitir suficiente tiempo y espacio para una respuesta adecuada.

Debe contar con una instalación adecuada. Instalar en forma adecuada los dispositivos y emplear materiales de alta calidad que garanticen su duración.

Para conseguir los propósitos antes mencionados, debe tenerse en cuenta los siguientes factores básicos: diseño, ubicación, operación, uniformidad y mantenimiento.

De acuerdo al Manual guía considerado para el presente estudio, se tiene la siguiente clasificación:

2.8.2. Señalización vertical









Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas, cumplen varias funciones como: prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas.

De acuerdo con la función que cumplen, las señales verticales se clasifican en:

Señales preventivas

Estas señales se emplean con el objeto de prevenir al tránsito de condiciones peligrosas existentes o potenciales, en la carretera o adyacentes a ella y la naturaleza de las mismas. Las señales de prevención exigen precaución de parte del conductor, ya sea para disminuir la velocidad o para que efectúe otras maniobras que redundan en su beneficio y en el de otros conductores y peatones. A continuación, se muestran algunas señales de prevención a ser utilizadas.

Cuadro 33. Señales preventivas


Señal	Tipo de señal	Descripción	Símbolo
SP-3	Preventiva	Curva pronunciada izquierda	
SP-4	Preventiva	Curva pronunciada derecha	
SP-5	Preventiva	Curva y contracurva izquierda	
SP-6	Preventiva	Curva y contracurva derecha	
SP-7	Preventiva	Curvas sucesivas primera derecha	
SP-8	Preventiva	Curvas sucesivas primera izquierda	
SP-23	Preventiva	Bifurcación izquierda	
SP-24	Preventiva	Bifurcación derecha	

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito A.B.C.

Señales reglamentarias

Las señales reglamentarias o de reglamentación tienen por objeto indicar a los usuarios de la vía las limitaciones, prohibiciones o restricciones sobre su uso. Estas señales se identifican por el código general SR. La prohibición se indica con una diagonal que forme 45 grados con el diámetro horizontal y debe trazarse desde el cuadrante superior izquierdo del círculo al cuadrante inferior derecho.

Cuadro 34. Señales reglamentarias

Señal	Tipo de señal	Descripción	Símbolo
SR-26	Restrictiva	Prohibido adelantar	

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito A.B.C.

Señales informativas

Son las que guían o informan al conductor sobre nombres y ubicación de poblaciones, rutas, destinos, direcciones, kilometrajes, distancias, servicios, puntos de interés, y cualquier otra información geográfica, recreacional y cultural pertinente para facilitar las tareas de navegación y orientación de los usuarios.

Las señales verticales se deben usar solamente donde se requieran (de acuerdo con un análisis de necesidades y estudios de campo), donde se apliquen reglamentaciones especiales o donde los peligros sean evidentes.

2.8.2.1. Diseño

Toda señal vertical debe transmitir un mensaje nítido e inequívoco al usuario de la vía, lo que se logra a través de símbolos y/o leyendas, donde estas últimas se componen de palabras y/o números.

Los símbolos y leyendas de una señal, siempre deben ser concordantes y coherentes con el mensaje que se requiere transmitir.

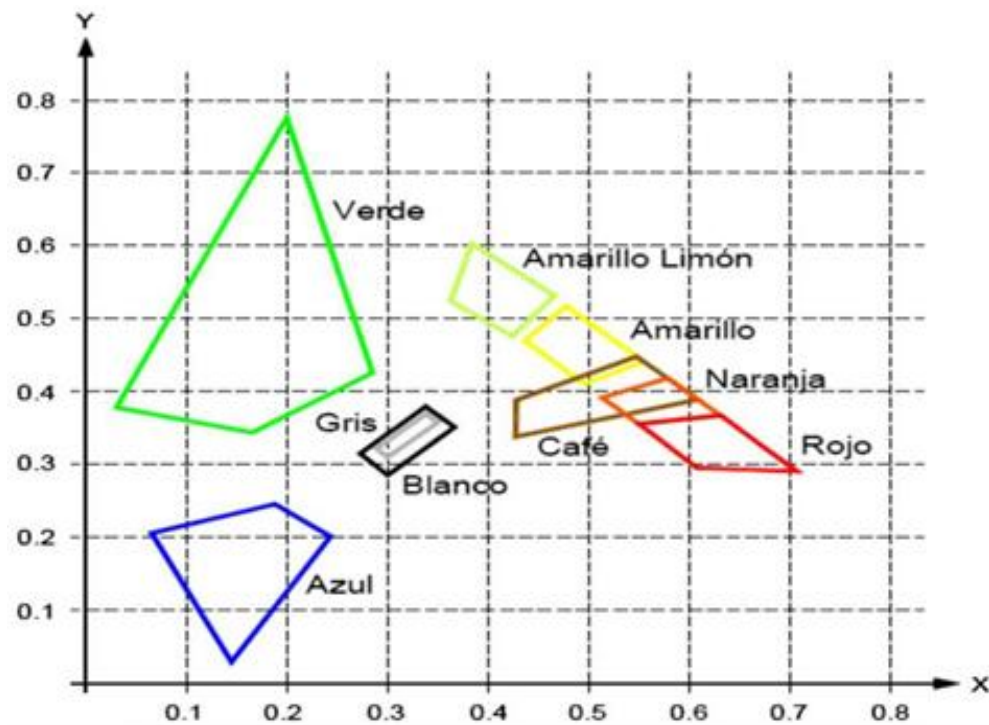
En el caso de señales reglamentarias y de advertencia de peligro, las leyendas inscritas en ellas deben corresponder siempre a letras mayúsculas. En cambio, cuando se trate de señales informativas, se considera la combinación mayúscula – minúscula.

2.8.2.2. Color

Las señales que se instalen deben ser legibles para los usuarios y su ubicación acorde con lo establecido en el manual de la ABC, para permitir una pronta y adecuada reacción del conductor aun cuando éste se acerque a la señal a alta velocidad. Esto implica que los dispositivos cuenten con buena visibilidad, tamaño de letras adecuado, leyenda corta, símbolos y formas acordes con lo especificado en el manual de la A.B.C.

Colores: Las señales de tránsito especificadas en el manual de la A.B.C, se deben construir con los colores especificados para cada una de ellas. Estos colores, se definen en base a las coordenadas cromáticas y deben estar dentro de los respectivos polígonos de color formados por los cuatro vértices definidos por la CIE (Comission International de l'Eclairage), especificados en el Diagrama Cromático.

Gráfico 6. Diagrama cromático CIE 1931, para señales verticales



El color de fondo a usarse en las señales verticales será como sigue:

Amarillo: Se utiliza como fondo para las señales preventivas y para los delineadores de curva horizontal.

Naranja: Se usa como fondo para las señales de construcción y mantenimiento.

Azul: Se emplea para las señales de información general (servicios).

Blanco: Se utiliza como fondo para las señales reglamentarias y las señales informativas de destino, geográficas y seguridad vial.

Rojo: Se usa sólo como fondo para las señales de “PARE”.

Verde: Se emplea como fondo de las señales informativas elevadas.

2.8.2.3. Ubicación longitudinal de las señales verticales

La ubicación de una señal debe garantizar que un usuario que se desplaza a la velocidad máxima permitida, sea capaz de interpretar y comprender el mensaje que se le está transmitiendo, con el tiempo suficiente para efectuar las acciones que se requieran para una eficiente y segura operación.

En lo que se refiere a la separación que debe respetarse entre cada tipo de señal, en el sentido longitudinal, es decir, paralelo al eje de la vía, la siguiente tabla entrega distancias mínimas de separación entre los diferentes tipos de señales.

Tabla 32. Distancia mínima entre señales verticales

Orden en que el conductor observará las señales	Velocidad (Km/h)			
	120-110	100-90	80-60	50-30
Reglamentaria o Advertencia - Reglamentaria o Advertencia	50	50	30	20
Reglamentaria o Advertencia - Informativa	90	80	60	40
Informativa - Reglamentaria o Advertencia	60	50	40	30
Informativa - Informativa	110	90	70	50

Fuente: Manual dispositivos para control tránsito de la A.B.C.

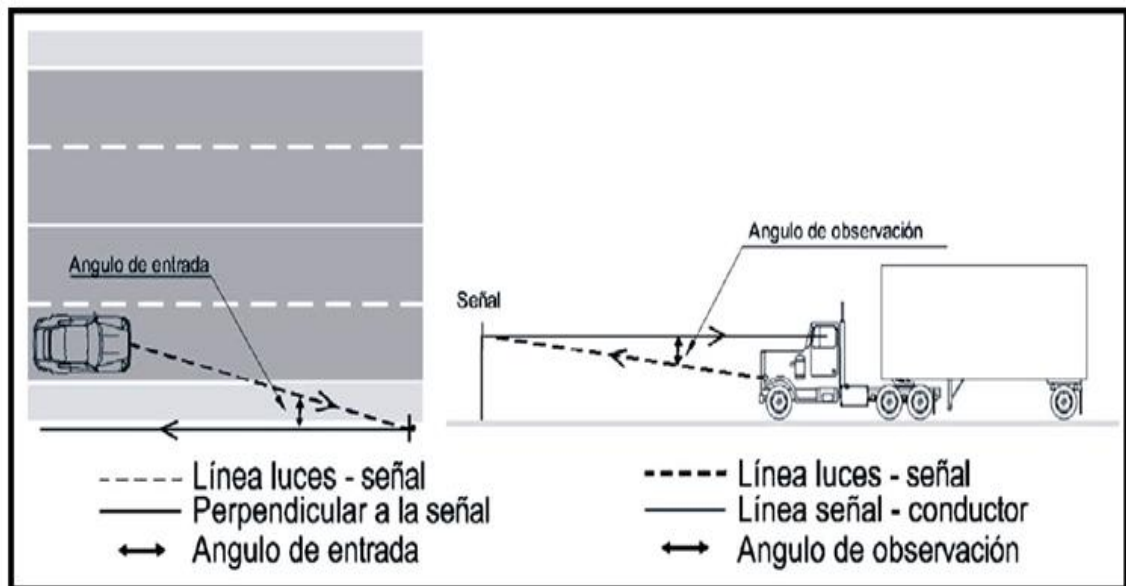
Cuando la instalación de una señal vertical coincida con el emplazamiento de otra señal vertical, las distancias indicadas anteriormente pueden ser modificadas en un $\pm 20\%$ como máximo.

2.8.2.4. Ubicación lateral de las señales verticales

La ubicación lateral de una señal vertical depende de la distancia medida desde el borde de la calzada, a la cual será instalada. Para esto, es importante tener presente que el conductor de un vehículo tiene una visibilidad en la forma de un cono de proyección, el que se abre en un ángulo de alrededor de 10° con respecto a su eje visual. Por lo tanto, se debe asegurar que la señal quede instalada en esa zona.

Por otro lado, junto con lo anterior, se debe cuidar de no separar demasiado la señal de la calzada, ya que resulta fundamental considerar el efecto de retro reflexión, muy sensible a lo que se denomina el ángulo de entrada que se muestra en la figura 15.

Figura 30. Ángulo de entrada y observación



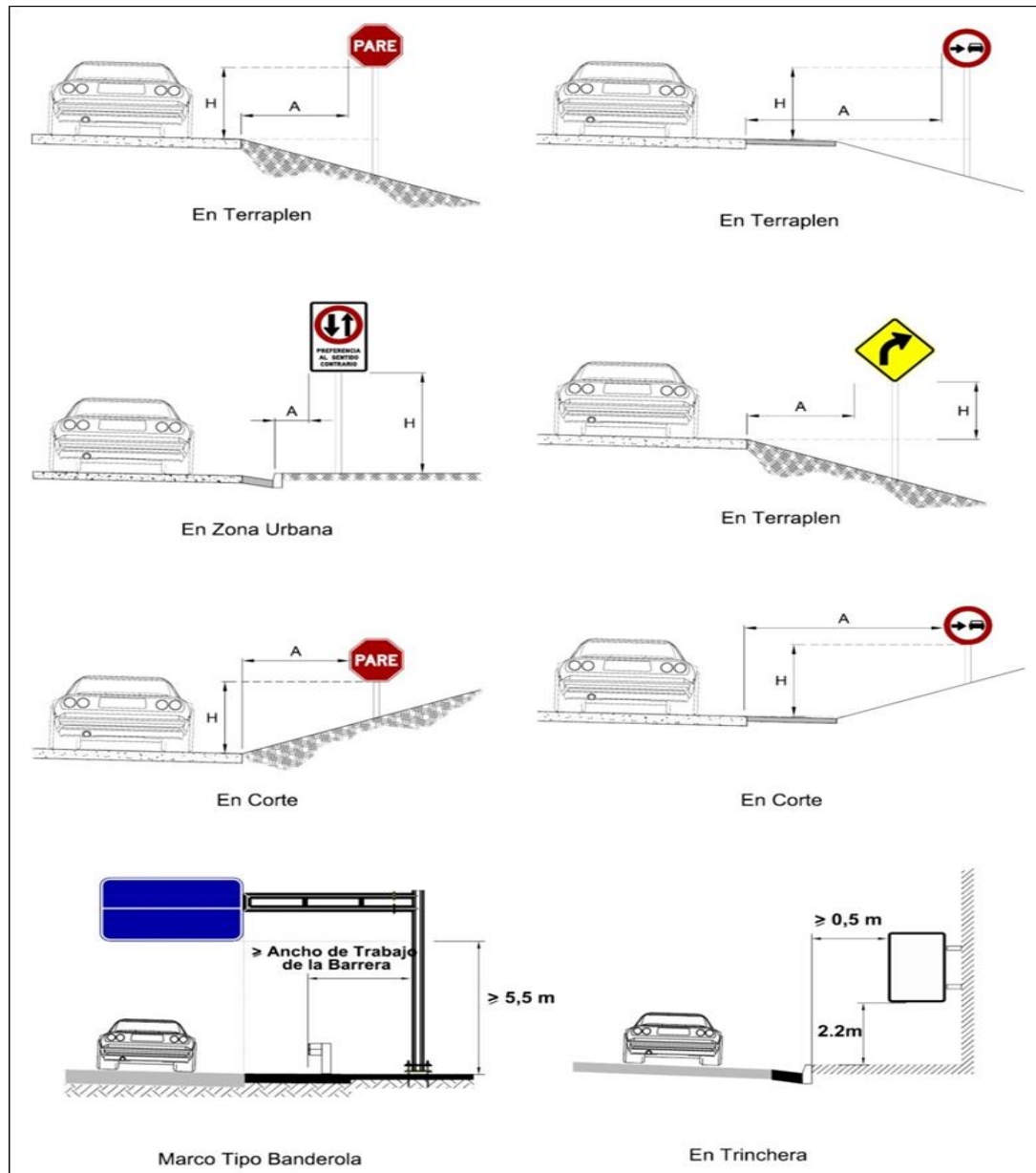
Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito A.B.C.

No obstante, lo anterior, bajo ninguna circunstancia se puede instalar una señal sobre la berma cuidando, además, que el borde de la placa más cercano a la calzada, no invada la zona correspondiente a ésta.

Con respecto a la altura de la placa de la señal, se deben conjugar varios factores, como son retro reflexión, tránsito de peatones, vegetación, obstáculos cercanos, etc.

Para una mejor interpretación de la ubicación lateral de una señal vertical, tanto en distancia desde la calzada como en altura, se incluye a continuación la siguiente figura.

Figura 31. Ubicación transversal de señales verticales – distancia y altura



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito A.B.C.

2.8.3. Señalización horizontal

Las señales horizontales o demarcaciones son marcas o elementos instalados sobre el pavimento, que mediante el uso de símbolos y leyendas determinadas cumplen la función de ordenar y regular el uso de la calzada.

La demarcación mediante líneas de pista, de eje y de borde otorga un mensaje continuo al usuario, definiendo inequívocamente el espacio por el cual debe circular, otorgando al

conductor la seguridad de estar transitando por el espacio destinado para tal efecto. Por el contrario, la ausencia de demarcación, genera comportamientos erráticos e inesperados en los conductores.

De acuerdo con la función que cumplen, las demarcaciones se clasifican en:

Líneas longitudinales: Las líneas longitudinales se emplean para delimitar pistas y calzadas; para indicar zonas con y sin prohibición de adelantar; zonas con prohibición de estacionar; y, para delimitar pistas de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos, por ejemplo, pistas exclusivas de bicicletas o buses.

Líneas transversales: Las líneas transversales tienen la función de definir puntos de detención y/o sendas de cruce de peatones y ciclistas, pueden ser de dos tipos: líneas de detención y líneas de cruce.

Símbolos y leyendas: Los símbolos y leyendas se emplean para indicar al conductor maniobras permitidas, regular la circulación y advertir sobre peligros. Se incluyen en este tipo de demarcación flechas, señales como CEDA EL PASO y PARE y leyendas como LENTO, entre otras.

Otras demarcaciones: Corresponden a demarcaciones como achurados, demarcaciones de tránsito divergente y convergente, distancia, etc. En este caso no es posible agruparlas por sus características geométricas, dado a que ninguna de sus formas o líneas predomina sobre las otras.

2.8.3.1. Líneas longitudinales

Se emplean para delimitar pistas, calzadas, zonas con y sin prohibición de adelantamiento, zonas con prohibición de estacionar y para delimitar pistas de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos.

Una línea continua sobre la calzada, independiente de su color, significa que ningún conductor con su vehículo debe atravesarla ni circular sobre ella.

Una línea discontinua sobre la calzada, independiente de su color, significa que es traspasable por cualquier conductor.

Este tipo de línea, se utiliza para delinear sub ejes longitudinales principales de la calzada de una vía. Se tiene:

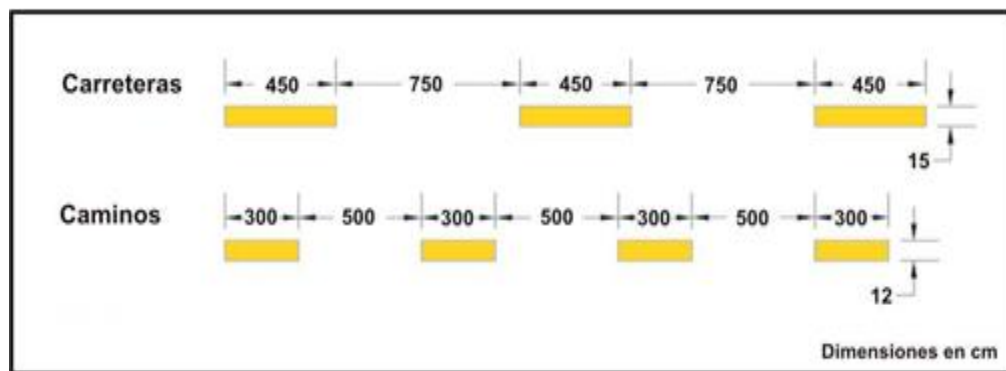
Líneas de eje

Las líneas de eje central se utilizan en calzadas bidireccionales para indicar dónde se separan los flujos de circulación opuestos. Se ubican generalmente en el centro de dichas calzadas; sin embargo, cuando la asignación de pistas para cada sentido de circulación es desigual, dicha ubicación no coincide con el centro. De forma similar, cuando existen juntas de construcción en la calzada, es conveniente desplazar levemente estas líneas para asegurar una mayor duración de las mismas. Para aumentar su eficacia en vías interurbanas, se deberá reforzar las líneas de eje central con demarcación elevada (tachas).

a. Línea amarilla discontinua. Se utiliza para demarcar la separación de carriles con sentido de flujo opuesto en donde se permite la maniobra de adelantamiento.

Para velocidades menores a 60 km/hr, el ancho de la línea continua será de 12 cm. Para rutas con velocidades mayores, su ancho será de 15 cm.

Figura 32. Diseño de líneas discontinuas



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito A.B.C.

b. Línea doble amarilla continua. Se utiliza para demarcar la separación de carriles con sentido de flujo opuesto en donde no es permitida la maniobra de adelantamiento.

Las líneas de eje central continuas dobles consisten en dos líneas blancas paralelas, de un ancho mínimo de 15 cm cada una, separadas por 20 cm, como mínimo, de modo tal que entre la tacha y los bordes de cada línea queden siempre 3 cm.

c. Línea doble amarilla continua y discontinua. Se utiliza para demarcar la separación de carriles con sentido de flujo opuesto en donde la maniobra de adelantamiento es permitida sólo para el tránsito adyacente a la línea de trazado discontinuo.

d. Línea doble amarilla discontinua. Se utiliza para demarcar la separación de carriles con sentido de flujo. Se utiliza para indicar carriles reversibles.

Línea blanca continua

La línea continua sobre la calzada significa que ningún conductor con su vehículo debe atravesarla ni circular sobre ella. Acorde a lo anterior, la línea continua se utiliza para:

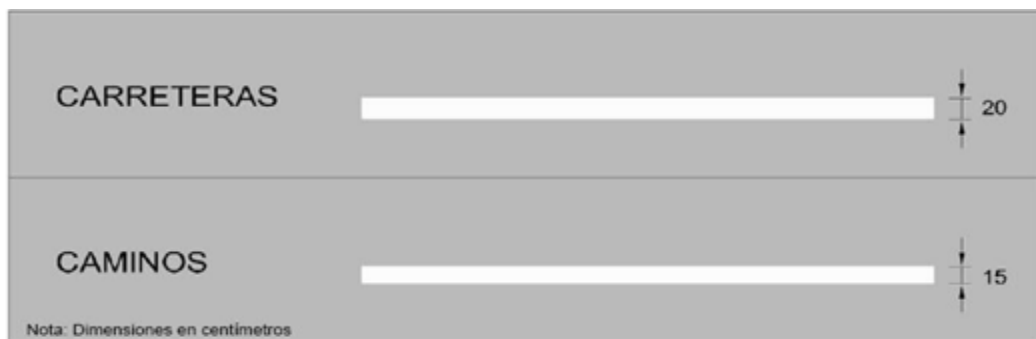
a. Demarcar la separación de carriles. De un mismo sentido de flujo en donde no es permitida la maniobra de adelantamiento.

b. Demarcar el borde derecho de la calzada. Estas líneas indican a los conductores, especialmente en condiciones de visibilidad reducida, dónde se encuentra el borde de la calzada, lo que les permite posicionarse correctamente sobre ésta.

Estas demarcaciones son la única orientación para un conductor cuando es encandilado por un vehículo que transita en el sentido contrario, de allí la importancia que presenta en caminos y carreteras bidireccionales.

Estas líneas deben disponer de los anchos indicados en la siguiente figura, en función del tipo de vía.

Figura 33. Dimensiones de demarcación continua



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito A.B.C.

2.8.3.2. Marcas incrustadas en el pavimento (ojos de gato)

Este tipo de marca puede ser usado para guiar al tránsito hacia el carril adecuado complementando otras marcas o, en algunos casos, como un sustituto de otros tipos de marcas. El color de las mismas debe regirse por el color de las marcas a las cuales ellas complementan o sustituyen.

Las marcas reflectivas tipo capta luz (ojo de gato) son las preferidas, principalmente en lugares donde las condiciones adversas del clima dificultan la visibilidad. Las marcas no reflectivas no deberían usarse solas como un sustituto de otros tipos de marcas, si no utilizarse con otras reflectivas.

A continuación, en el siguiente cuadro se muestra un resumen de toda la señalización tanto vertical como horizontal con la que va a contar este proyecto.

Cuadro 35. Resumen de la señalización

Ítem	Descripción	Unidad	Total
1	Defensas laterales metálicas, incluye terminales	m	580.00
2	Pintado de la superficie de rodadura de 0.12 m. de ancho (Blanca)	m	11,560.00
3	Pintado de la superficie de rodadura de 0.12 m. de ancho (Amarilla)	m	6,692.00
4	Tachas reflectivas bidireccionales del eje de la calzada	Pza	723.00
5	Tachas reflectivas bidireccionales del borde de la calzada	Pza	722.00
6	Señal preventiva romboidal 0.60 x 0.60 m.	Pza	42.00
7	Señal restrictiva rectangular 0.60 x 0.90 m.	Pza	38.00
8	Señal informativa de dirección, tres líneas 110x90 cm.	Pza	1.00
9	Señal informativa de localización, una línea 110x40 cm.	Pza	1.00
10	Postes para señales verticales	Pza	84.00

Fuente: Elaboración propia

Cada una de estas señalizaciones verticales como horizontales se muestran de forma más clara en los ANEXOS 5 Diseño Geométrico.

2.9. Cómputos métricos

Cómputos métricos de las actividades

Los cómputos métricos son problemas de medición de longitudes, áreas y volúmenes que requieren el manejo de fórmulas geométricas. El cómputo métrico requiere del conocimiento de procedimientos constructivos.

El objeto que cumplen los cómputos métricos dentro de una obra son:

- 1.- Determinar la cantidad de material necesario para ejecutar la obra.

2.- Establecer volúmenes de obra y costos parciales con fines de pago por avance de obra. Estas planillas muestran las cantidades de los ítems a realizar, dando un detalle completo de todos ellos. Estos valores se pueden revisar de manera detallada en el ANEXO 8 CÓMPUTOS MÉTRICOS, ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO GENERAL.

Los cómputos métricos realizados para el proyecto, se detallan de manera general a continuación.

Cuadro 36. Resumen de cálculos métricos

N°	Descripción de ítem	Unid.	N° Veces	Unidad			Cantidades	
				Largo	Alto	Ancho	Parcial	Total
M01 - OBRAS PRELIMINARES								
1	Movilización y desmovilización	glb	1				1	1
2	Instalación de faenas	glb	1				1	1
3	Replanteo y control topográfico	km						
	tramo Cruce Los Naranjos - Cruce Serere Limal (0+000 - 5+780)		1	5.78			5.78	5.78
4	Limpieza, desbroce, desbosque y destronque	km ²						
			1	5.8		0.04		0.232
5	Provisión y colocación de letrero	pza	2				2	2
M02 -MOVIMIENTO DE TIERRAS								
6	Excavación (suelo semiduro)	m ³						
	volumen total de excavación		1				268068.19	268068.19
7	Conformación de terraplén	m ³						
	volumen total de terraplén		1				52946.59	52946.59
8	Sobre acarreo de material excedente	m ³						
	volumen neto acumulado		1				215121.6	215121.6
M03 - COMFORMADO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL								
9	Provisión y conformación de capa sub base	m ³						
	volumen total de capa sub base		1	5870	0.3	7	12327	12327

10	Provisión y conformación de capa base	m ³						
	volumen total de capa base		1	5780	0.29	7	11733.40	11733.40
11	Imprimación bituminosa (ejec. y suminis.)	m ²	1	5780		7	40460	40460
12	Tratamiento superficial para bermas	m ²						
			2	5780		0.5	2890	5780
13	Conformación de carpeta asfáltica	m ³						
			1	5780	0.06	6	2080.8	2080.8
M04 - ORAS DE ARTE MENOR								
14	Excavación común para estructuras de drenaje	m ³						
	Excavación de cunetas		1	6840	0.8	1	5472	5472
	Excavación de alcantarillas de alivio D=1m		21	7	1.6	1.6	17.92	376.32
								5848.32
15	Relleno y compactado de alcantarillas	m ³						
	Relleno y compactado de obras de arte		21	7	1	1	7	147
16	Hormigón para estructuras de drenaje	m ³						
	Hormigón para cunetas			6840	2.6	0.15	2667.6	2667.6
17	Tubería metal corrugado (d=1 m.) para alcantarilla de alivio	ml						
	Alcantarillas de alivio		21	7			7	147
18	Tubería de metal corrugado (d=1.8 m.) para alcantarilla de cruce	ml						
	Alcantarillas de cruce		3	8			8	24

19	Cama de arena para alcantarillas de alivio	m ³						
			1	147	0.3	1.1	48.51	48.51
20	Cunetas de drenaje	ml	1	6840			6840	6840
M05 - SEÑALIZACIÓN								
21	Pintado de calzada (0.10) m. de ancho blanco	ml	2	5780			5780	11560
22	Pintado de calzada (0.12) m. de ancho amarillo	ml	1	6692			6692	6692
23	Señales preventivas romboidales (60*60 cm)	pza	42				42	42
24	Señales restrictivas rectangulares (90*60 cm)	pza	38				38	38
25	Señales informativas de (110*90 cm) y (110*40 cm)	pza	2				2	2
M06 -ENTREGA DE OBRA								
26	Limpieza general de la obra	glb	1				1	1
27	Placa entrega de obra	pza	1				1	1

Fuente: Elaboración propia

2.10. Análisis de precios unitarios y presupuestos

El análisis de precios unitarios, según las NB-SABS (normas básicas del sistema de administración de bienes y servicios), se realiza llenando el formulario por actividad o ítem y se encuentran detallados en ANEXO 8 CÓMPUTOS MÉTRICOS, PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO GENERAL.

A continuación, se desglosa todos los componentes que influyen en el análisis de precios unitarios.

Materiales. Es el primer componente que tiene su importancia en la estructura de costos, su magnitud y cantidad dependen de la definición técnica y las características propias de cada uno de los materiales que integran el ítem.

La mano de obra. Se halla condicionada a dos factores:

- El precio que pagan por ella o salario.
- El tiempo de ejecución de la unidad de obra o rendimiento a tres sistemas de trabajo: a jornal, a contrato y a destajo.

Los costos indirectos de la mano de obra se calculan basados en varios criterios, englobados en las cargas sociales, que incluyen rubros como: aportes, vacaciones, licencias y enfermedad, días efectivamente trabajados, costos de campamento y alimentación. Todas estas incidencias fueron convertidas en días efectivamente pagados y en porcentajes de incidencia que sirvieron para determinar los factores de mayoraciones correspondientes.

Cargas sociales. Las cargas sociales relacionadas con la mano de obra se dividen en dos categorías:

- Cargas de aplicación directa (inmediata)
- Cargas de aplicación diferida

Las cargas de aplicación directa comprenden los aportes que efectúa el empleador al sistema del seguro social y a los beneficios que recibe el empleado de acuerdo a las disposiciones legales vigentes.

Las cargas de aplicación diferida se refieren a los compromisos que el empleador asume con el empleado, en forma voluntaria o forzosa, de acuerdo a circunstancias especiales como: rescisión del contrato de trabajo, días no trabajados por feriados, licencias, y otros.

Maquinaria y equipo. Para seleccionar el equipo y la maquinaria a utilizar en la construcción del proyecto, se toman en cuenta la potencia, capacidad de trabajo y condiciones de operatividad del equipo.

Herramientas y equipos menores. Por lo general para este rubro, se adopta un porcentaje de la mano de obra teniéndose como racional el 5% el cual depende de la actividad.

Gastos generales y administrativos. Otro de los porcentajes con el que se mayor el precio unitario es el de los gastos generales, en este caso 10%, éste considera todos los gastos operacionales indirectos como ser los administrativos, seguros, garantías, etc.

Utilidades. Es el beneficio que busca la empresa en la realización de las obras, y por consiguiente su fijación en porcentaje es difícil de determinar; normalmente se suele utilizar el valor del 10% del costo parcial del ítem (costo parcial más gastos generales) y ese es el referente que se utiliza en el presente proyecto.

Impuestos. El impuesto aplicable es el impuesto al valor agregado IVA, el que incide en un 13% del costo de la mano de obra que, determinado del subtotal de la mano de obra más las cargas sociales, corresponde al 14.94% (resultante de la división $100\%/0.87 - 100\% = 14.94\%$). El impuesto a las transacciones, por su carácter global, se aplica al total del precio unitario correspondiente al 3% del mismo correspondiendo al 3.09% (resultante de la división $100\% / 0.97 - 100\% = 3.09$) de los subtotales de los costos directos e indirectos, y el impuesto a la utilidad de las empresas, que es parte de los gastos generales y administrativos, por lo que no es tomado en cuenta como porcentaje directo de ningún rubro.

A continuación, se muestra el análisis del precio unitario de un ítem del proyecto.

Cuadro 37. Análisis de precios unitarios

Actividad: N°1 MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN

Unitario: glb

Cantidad: 1.00

Moneda: Bolivianos

Descripción	Und.	Cantidad	Precio Productiv.	Costo Total
1. MATERIALES				
VARIOS.MAT.IMPORTADOS(I.FAENAS)	GLB	1.00000	12,000.00	12000
VARIOS MAT. NACIONAL (I. FAENAS)	GLB	1.00000	8,000.00	8000
TOTAL MATERIALES				20,000.00
2. MANO DE OBRA				
CAPATAZ	HR.	10.00000	22.60	226.00
CHOFER	HR.	22.00000	16.25	357.50
OPERADOR	HR.	22.00000	23.28	512.16
SUBTOTAL MANO DE OBRA				1,095.66
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA			55.00%	602.61
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIAL			14.94%	253.72
TOTAL MANO DE OBRA				1,951.99
3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS				
REMOLQUE TRAILER "LOWBOY"	HR.	22.00000	630.62	13,873.62
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5.00%	97.60
TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS				13,971.22
4. GASTOS GENERALES				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			10.00%	3,592.32
TOTAL GASTOS GENERALES				3,592.32
5. UTILIDAD				
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4			10.00%	3,951.55
TOTAL UTILIDAD				3,951.55
6. IMPUESTOS				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3.09%	1,343.13
TOTAL IMPUESTOS				1,343.13
TOTAL PRECIO UNITARIO				44,810.22

Fuente: Elaboración propia

2.11. Presupuesto general del proyecto

El presupuesto es el cálculo anticipado del costo de una obra, o de una de sus partes. Es, como su nombre lo indica la predicción de un hecho futuro cuya magnitud debe representar con toda la exactitud con que ella pueda determinarse.

La estimación de costos y la elaboración de presupuesto representan los pasos más importantes en lo que se refiere a la planificación de una obra. En cada etapa de la construcción, el presupuesto representa la base para la toma de decisiones y, en lo que se refiere a obras de carácter público (Licitaciones), es el factor más importante en la adjudicación de contratos. Actualmente, la gran competitividad en el sector de la construcción, hace que la estimación de costos sea una de las causas del éxito o fracaso de empresas.

La estimación del costo de construcción es necesariamente el resultado de un proceso de cálculo de cantidades (Volúmenes de obra) y valores (Precios unitarios) de todos los ítems y/o actividades que forman parte de una construcción; en ningún caso deben considerarse probabilidades porque estas no siempre podrán dar un resultado positivo. Indiscutiblemente no es posible hablar de valores perfectos, ya que estos dependen de una serie de factores entre los que se podría citar: Variaciones de precios en el mercado, ausencia o carencia de materiales, bajos rendimientos de mano de obra, errores en los cómputos métricos, etc. Autores de una misma nacionalidad consideran rendimientos diferentes en el cálculo de costos, igualmente existen discrepancias de opinión relativas a la aplicación de gastos generales, imprevistos, utilidad, etc. Es por esta razón que el cálculo de costos obliga al profesional a adquirir una serie de conocimientos, cualidades y factores que le permitan analizar detalles y generalidades del trabajo, así como experiencia en la construcción, información permanente sobre el valor de los materiales, rendimientos sobre la mano de obra, maquinaria y equipo apropiado, problemas de administración, financiamiento, medios de transporte, clasificación y calificación de prioridades en las compras, acumulación racional de materiales, además de las cualidades personales de capacidad, método y seguridad en el cálculo.

Cuadro 38. Presupuesto general del proyecto

Nº Ítem	Descripción	Unidad	Precio unitario (Bs.)	Cantidad	Precio parcial (Bs.)
	M01 - OBRAS PRELIMINARES				
1	Movilización y desmovilización de equipo y maquinaria	glb	44,810.22	1.00	44810.22
2	Instalación de faenas	glb	34,175.45	1.00	34175.45
3	Replanteo y control topográfico	km	4,869.59	5.78	28146.23
4	Limpieza, desbroce, desbosque y destronque	km ²	6,592.48	0.35	2294.38
5	Provisión y colocación de letrero	pza	2,336.19	2.00	4672.38
	M02 -MOVIMIENTO DE TIERRAS				
6	Excavación (suelo semiduro)	m ³	48.51	398,610.0	19336571.10
7	Conformación de terraplén	m ³	28.52	102,579.0	2925553.08
8	Sobreacarreo de material excedente	m ³	22.41	296,031.0	6634054.71
	M03 - COMFORMADO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL				
9	Provisión y conformación de la capa sub base	m ³	334.00	11,505.2	3842736.80
10	Provisión y conformación de capa base	m ³	358.95	4,855.2	1742774.04
11	Imprimación bituminosa (ejec. y suminis.)	m ²	20.31	40,460.0	821742.60
12	Tratamiento superficial para bermas	m ²	75.75	5,780.00	437835.00
13	Conformación de carpeta asfáltica	m ³	2,719.59	2,080.80	5658922.87

	M04 - ORAS DE ARTE MENOR				
14	Excavación común para estructuras de drenaje	m ³	140.36	2,875.52	820870.20
15	Relleno y compactado de alcantarillas	m ³	40.36	260.93	5932.92
16	Hormigón para estructuras de drenaje	m ³	1,048.80	456.10	2797778.88
17	Tubería metal corrugado (d=1 m.) para alcantarilla de alivio	ml	1,689.87	147.00	248410.89
18	Tubería metal corrugado (d=1.8 m.) para alcantarilla de cruce	ml	1,829.44	24.00	43906.56
19	Cama de arena para alcantarillas de alivio	m ³	131.68	48.51	6387.80
20	Cunetas de drenaje	ml	100.02	6,248.0	684136.80
	M05 - SEÑALIZACIÓN				
21	Pintado de calzada (0.10) m. de ancho blanco	ml	9.61	11,560.00	111091.60
22	Pintado de calzada (0.12) m. de ancho amarillo	ml	9.27	6,692.00	62034.84
23	Señales preventivas romboidales (60*60 cm)	pza	1,292.34	42.00	54278.28
24	Señales restrictivas rectangulares (90*60 cm)	pza	1,561.96	38.00	59354.48
25	Señales informativas de (110*90) y (90*60)	pza	2,044.37	2.00	4088.74
	M06 -ENTREGA DE OBRA				
26	Limpieza general de la obra	glb	12,868.10	1.00	12868.10
27	Placa entrega de obra	pza	270.72	1.00	270.72

Costo total en Bolivianos Bs. 43634406.63

Costo total en Dólares \$. 6269311.30

2.12. Estudio de impacto ambiental

Se considera todo efecto que se manifieste en el conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes en un espacio y tiempo determinados y que pueden ser de carácter positivo o negativo.

2.12.1. Ficha ambiental

Consiste en el documento técnico que marca el inicio del proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, el mismo que se constituye en instrumento para la determinación de la Categoría de Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental. Este documento, que tiene categoría de declaración jurada, incluye información sobre el proyecto, obra o actividad, la identificación de impactos clave y la identificación de la posible solución para los impactos negativos. Es aconsejable su llenado en la fase de prefactibilidad, ya que se tiene sistematizada la información del proyecto, obra o actividad.

Toda Ficha Ambiental debe tener un contenido mínimo de información que refleje una idea general del proyecto; es decir: identificación y ubicación del proyecto, explicar qué actividades se van a desarrollar y el tiempo que dure la obra, la tecnología que se va a utilizar, la inversión total, descripción de la calidad y cantidad de recursos humanos a emplear; así mismo, debe explicar qué recursos naturales del área serán aprovechados como materia prima, los insumos y la producción que demande la obra, la generación de residuos, los posibles accidentes y contingencias. Se debe indicar los impactos que se ocasionará y las medidas de mitigación y prevención que se emplearán para evitar o minimizar los impactos negativos.

2.12.2. Categorización del proyecto

Todas las obras, actividades públicas o privadas, con carácter previo a su fase de inversión, deben contar obligatoriamente con la identificación de la categoría de evaluación de impacto ambiental. La normativa Ambiental indica 4 categorías reglamentadas, y son:

- 1.- Requiere de Estudio de Impacto Ambiental (EIA) analítica integral.
- 2.- Requiere de Estudio de Impacto Ambiental (EIA) analítica específica.
- 3.- No requiere de Estudio de Impacto Ambiental (EIA) analítica específica, pero puede ser aconsejable su revisión conceptual.
- 4.- No requiere de Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

Cuadro 39. Formulario de nivel de categorización ambiental

(* Campos obligatorios)

1) DATOS DEL REPRESENTANTE LEGAL(RL)				
(*) Nombres y Apellidos: Mario Alberto Martínez Salinas		(*) Tipo de Documento: C.I.: 7137604		(*) Expedido: Tarija
(*) Domicilio Legal: B/La pampa Calle/Bolívar entre Méndez y Santa cruz				
(*) N° Teléfono fijo:		(*) N° Celular: 78241448	(*) Correo Electrónico: Chinin1225256@gmail.com	
(*) Testimonio Público que avala ser RL:				
2) DATOS DEL CONSULTOR AMBIENTAL				
(*) Nombres y Apellidos: Griselda Labra Condori		(*) Tipo de Documento: C.I.: 7209110		(*) Expedido: Tarija
(*) Domicilio Legal: B/ La Pista				
(*) N° Teléfono fijo:		(*) N° Celular: 72980382	(*) Correo Electrónico: gris_nyn@hotmail.com	
(*) Registro RENCA: N° 172831			(*) Fecha de emisión: 29/01/2019	
3) DATOS DE LA EMPRESA				
(*) Razón Social:			(*) Sector: Elija un sector.	
(*) Domicilio Legal:				
N° de registro de FUNDEMPRESA:		Fecha de Reg.: Elija Fecha		(*) N° de NIT:
N° de registro de AFSCOOP:		Fecha de Reg.: Elija Fecha		
(*) Departamento/Ciudad:			(*) Dirección:	
(*) No Teléfono fijo:		(*) Correo Electrónico:		
4) IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN DEL PROYECTO				
(*) Nombre del proyecto: “DISEÑO DE INGENIERÍA DEL TRAMO CRUCE LOS NARANJOS – CRUCE SERERE LIMAL”				
(*) Ubicación Política del Proyecto:				
N°	Departamento	Provincia	Municipio	Comunidad
1	Tarija	O'Connor	Entre Ríos	Naranjos
....				

(*) Ubicación geográfica en UTM:				
N°	Descripción	X	Y	Zona
1	Naranjos	21°33'33"	64°08'58"	Z 21
2	Serere Limal	21°31'51"	64°07'18"	Z 21
Código catastral del predio:			N° de registro catastral:	
(*) Superficie Ocupada por el Proyecto: Longitud del tramo: 5.780Km				
Uso de Suelo	Actual: Uso de suelo actual		Potencial: Uso de suelo potencial	
N° de Certificado:	Expedido por:		Fecha: Elija la fecha	
NOTA: Anexar plano de ubicación del predio, certificado de uso de suelo, derecho propietario del inmueble y fotografías panorámicas del lugar				
5) IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO				
(*) Sector: Multisector		(*) Sub Sector: 06 Transportes		
(*) Ámbito del proyecto:		<input type="checkbox"/> Urbano <input checked="" type="checkbox"/> Rural		
(*) Pertenece a un área:	<input type="checkbox"/> Protegida Municipal			
	<input type="checkbox"/> T.I.O.C.			
	<input checked="" type="checkbox"/> Otro		Tierra Fiscal	
(*) Actividad Especifica: Construcción de carretera pavimentada				
(*) Objetivo General del Proyecto: Realizar el Diseño de Ingeniería, para el mejoramiento del camino, tramo Cruce Los Naranjos – Cruce Serere Limal, realizando estudios de los diferentes componentes de ingeniería, los cuales puedan cumplir con las normas vigentes de diseño de carreteras; de tal manera, que se cumpla con todas las expectativas de la población beneficiaria con el proyecto.				
(*) Vida Útil Estimada del Proyecto: -La nueva carretera pavimentada cuenta con obras de arte y señalización que permiten un servicio seguro y proyectado a 20 años.				
(*) Etapa(s) del Proyecto				
Exploración <input checked="" type="checkbox"/>		Ejecución <input checked="" type="checkbox"/>		Operación <input type="checkbox"/>
Mantenimiento <input type="checkbox"/>		Abandono <input type="checkbox"/>		Futuro inducido
(*) Nivel de Categoría de Acuerdo a la Lista			Categoría 3: PPM-PASA	

Inversión del Proyecto:

PRESUPUESTO POR ITEMS Y GENERAL DEL PROYECTO CRUCE LOS NARANJOS - CRUCE SERERE LIMAL
(En Bolivianos)

N° Ítem	Descripción	Unidad	Precio unitario (Bs.)	Cantidad	Precio parcial (Bs.)
M01 - OBRAS PRELIMINARES					
1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPO Y MAQUINARIA	glb	44,810.22	1.00	44810.22
2	INSTALACIÓN DE FAENAS	glb	34,175.45	1.00	34175.45
3	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRÁFICO	km	4,869.59	5.78	28146.23
4	LIMPIEZA, DESBROCE, DESBOSQUE Y DESTRONQUE	km ²	6,592.48	0.35	2294.18
5	PROVICIÓN Y COLOCACIÓN DE LETRERO	pza	2,336.19	2.00	4672.38
M02 - MOVIMIENTO DE TIERRAS					
6	EXCAVACIÓN (SUELO SEMI DURO)	m ³	48.51	398,610.00	19336571.10
7	CONFORMACIÓN DE TERRAPLEN	m ³	28.52	102,579.00	2925553.08
8	SOBREACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	m ³	22.41	296,031.00	6634054.71
M03 - COMFORMADO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL					
9	PROVIVION Y CONFORMACION DE LA CAPA SUB BASE	m ³	334.00	11,505.20	3842736.80
10	PROVICIÓN Y CONFORMACIÓN DE CAPA BASE	m ³	358.95	4,855.20	1742774.04
11	IMPRIMACIÓN BITUMINOSA (EJEC. Y SUMINIS.)	m ²	20.31	40,460.00	821742.60
12	TRATAMIENTO SUPERFICIAL PARA BERMAS	m ²	75.75	5,780.00	437835.00
13	CONFORMACION DE CARPETA ASFALTICA	m ³	2,719.59	2,080.80	5658922.87
M04 - ORAS DE ARTE MENOR					
14	EXCAVACIÓN COMÚN PARA ESTRUCTURAS DE DRENAJE	m ³	140.36	2,875.52	403607.99
15	RELLENO Y COMPACTADO DE ALCANTARILLAS	m ³	40.36	260.93	10531.13
16	HORMIGON PARA ESTRUCTURAS DE DRENAJE	m ³	1,048.80	456.10	478361.88
17	TUBERIA METAL CORRUGADO (D=1 M.) PARA ALC. DE ALIVIO	ml	1,689.87	147.00	248410.89
18	TUBERIA METAL CORRUGADO (D=1.8 M.) PARA ALC. DE CRUCE	ml	1,829.44	24.00	43906.56
19	CAMA DE ARENA PARA ALCANTARILLAS DE ALIVIO	m ³	131.68	48.51	6387.80
20	CUNETAS DE DRENAJE	ml	100.02	6,248.00	624924.96
M05 - SEÑALIZACIÓN					
21	PINTADO DE CALZADA (0.12) m. de ancho blanco	ml	9.61	11,560.00	111091.60
22	PINTADO DE CALZADA (0.12) m. de ancho amarillo	ml	9.27	6,692.00	62034.84
23	SEÑALES PREVENTIVAS ROMBOIDALES (60*60 cm)	pza	1,292.34	42.00	54278.28
24	SEÑALES RESTRICTIVAS RECTANGULARES (90*60 cm)	pza	1,561.96	38.00	59354.48
25	SEÑALES INFORMATIVAS DE (110*90) Y (90*60)	pza	2,044.37	2.00	4088.74
M06 - ENTREGA DE OBRA					
26	LIMPIEZA GENERAL DE LA OBRA	glb	12,868.10	1.00	12868.10
27	PLACA ENTREGA DE OBRA	pza	270.72	1.00	270.72
COSTO TOTAL BOLIVIANOS Bs.					43634406.63
COSTO TOTAL DOLARES \$					6269311.30

Fuentes de Financiamiento:
Sub Gobernación de Entre Ríos.

6) DECLARACIÓN JURADA Y FIRMA

Yo Mario Alberto Martínez Salinas con C.I.: 7137604 Tja en calidad de Representante Legal del Proyecto “DISEÑO DE INGENIERÍA DEL TRAMO CRUCE LOS NARANJOS – CRUCE SERERE LIMAL” juro la exactitud y veracidad de la información detallada en el presente documento, y me comprometo a no realizar actividades diferentes a las señaladas en el presente formulario, a cumplir con las normas consignadas en la Ley N° 1333 de Medio Ambiente, sus reglamentos, disposiciones conexas y normas técnicas aplicables a mi actividad y reparar los daños que pudieran producirse como resultado de mi actividad.

Firmas:

Mario Martínez
REPRESENTANTE LEGAL

Griselda Labra
RESPONSABLE TÉCNICO

Lugar y fecha: Tarija, 04 de Septiembre de 2019

CAPÍTULO III

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

Luego de haber concluido con la realización del proyecto "DISEÑO DE INGENIERÍA DEL TRAMO CRUCE LOS NARANJOS – CRUCE SERERE LIMAL", se llega a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

Se efectuó la recopilación de la información del tramo en estudio y de la fundamentación bibliográfica, para tener un buen respaldo de todas las normas vigentes sobre carreteras de nuestro país.

- Se realizó el estudio topográfico a detalle del Tramo Cruce Los Naranjos – Cruce Serere Limal, para adquirir todos los datos topográficos sobre la carretera actual que abarca 6.058 km, considerando un derecho de vía de 30 m y colocando sus respectivos BMs en lugar claves y visibles, para su posterior procesamiento en el Auto CAD Civil 3D.
- En base a datos de la estación pluviométricas de Entre Ríos se elaboró el estudio hidrológico correspondiente al tramo en estudio para determinar intensidades máximas y así establecer los caudales de diseño, para el posterior diseño estructural de las cunetas, alcantarillas de alivio y alcantarillas de cruce.
- En base a la realización de aforos vehiculares correspondientes al tramo en estudio se observó y se determinó que en la zona existe un promedio de tráfico vehicular de mediano, donde la proporción de vehículos livianos es la más significativa en comparación a buses y camiones.
- Se desarrollaron todos los estudios de suelos necesarios para conocer las características físico - mecánicas, los mismos evidencian que a lo largo del tramo, el suelo predominante es un Suelo de tipo A-4 en un porcentaje de 77%, quedando de en un menor porcentaje un Suelo tipo A-2-4 23%. Con todos estos tipos de suelos se realizaron los ensayos correspondientes para la determinación del CBR de la subrasante.

- Se efectuó el diseño geométrico del Tamo Cruce Los Naranjos – Cruce Serere Limal tomando en cuenta la normativa vigente del Manual de Diseño Geométrico de la ABC, de donde se obtuvieron todos los parámetros básicos para el diseño como ser velocidad de proyecto de 40 Km/h, radio mínimo de 50 m, pendientes máximas de 9 %, anchos de calzada de 7 m con dos carriles unidireccionales de 3 m de ancho, un ancho de berma de 0.5 m, pendiente transversal (bombeo) de 2%.
- Se elaboró el diseño de obras de arte menor como las alcantarillas de alivio que fueron diseñadas tomando en cuenta el caudal que recogen las cunetas, con ello se determinó su diámetro (el cual es de 1.00 m.); dichas alcantarillas son de chapa de metal corrugado. Las alcantarillas de cruce fueron diseñadas delimitando áreas de cuenca calculando la intensidad de lluvia y su respectivo caudal para cada una, también se debe aclarar que estas alcantarillas son de metal corrugado de un diámetro adoptado para todas de 1.80 m. Además, se realizó el diseño de las cunetas para todo el tramo en estudio de acuerdo a la normativa, determinando el caudal que transportarán estas estructuras.
- Para el diseño del paquete estructural de pavimento flexible se utilizó el método AASHTO – 93. El diseño de las mismas dio espesores para una capa sub base de 28 cm, base de 12 cm y una capa de rodadura de 6 cm.
- Se efectuó la señalización horizontal como vertical de todo el tramo, tomando en cuenta la normativa vigente del Manual de Señalización y Seguridad Vial de la ABC; se consideraron las señales preventivas, reglamentarias e informativas, marcas incrustadas (ojos de gato), línea continua y discontinua para determinar los sectores donde es permitido el adelantamiento y donde es prohibido.
- Se determinaron los cómputos métricos de los ítems para establecer los volúmenes de obra, también se realizaron los análisis de los precios unitarios respectivos, para así de esa manera tener el presupuesto general y el costo total del proyecto.
- Se elaboraron las especificaciones técnicas del proyecto donde se detalla la forma de ejecución, la forma de pago, el equipo necesario y el control técnico correspondiente tomando en cuenta las normas para realizar la construcción de cada ítem al momento de realizar la ejecución del proyecto.

- Se llenó la correspondiente ficha ambiental y matriz de evaluación de impactos ambientales para la determinación de la categorización del proyecto.

3.2. Recomendaciones

Habiéndose concluido con todo el diseño de este proyecto, se procede a realizar algunas recomendaciones.

Un aspecto importante sobre este tramo caminero es que el mismo ya existía hace varios años, por lo que no es necesario invadir propiedades privadas; y razón por la cual no se puede realizar muchas alternativas de diseño geométrico ya que en el tramo existente hay puntos estratégicos como viviendas, escuelas, cruce de camino, etc.

Se debe realizar un análisis de estudio de suelos más preciso, y con mucho cuidado al momento de extraer la muestra, por que como ya se ha visto los tipos de suelos que se obtuvieron para este proyecto no son los mejores para la conformación de la subrasante ni los otros componentes del paquete estructural.

Se debe efectuar un estudio de tráfico aparte, para corroborar el estudio previo ya realizado como en los meses de fiestas o cosechas de cítricos, ya que en esas fechas existe mayor concurrencia de vehículos por ser una zona de cultivo muy importante para la provincia, tales datos proporcionarán un aforo más real, y confiable, y mejor al anterior aforo realizado para el proyecto, ejecutado en los meses de poca afluencia por vehículos livianos, medianos y pesados.

Para el estudio hidrológico, sería conveniente contar con datos pluviométricos de otras estaciones para que el estudio sea más confiable, y consistente, tomando en cuenta no sólo en la única estación pluviométrica de Entre Ríos, la cual no se encuentra dentro del área del proyecto, sino también usando otras metodologías nuevas, para estimar las precipitaciones, sus intensidades máximas, y los caudales.

Se puede aplicar encuestas antes de la construcción del proyecto, a todos los beneficiarios, comunarios agricultores, para averiguar qué es lo que más afecta al camino actual, y así de esta manera intentar sacar todas las referencias posibles para así mejorar la parte técnica del diseño o construir alguna obra de arte menor u obra de arte mayor que pueda justificarse en el proyecto.