

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **1.1. Antecedentes**

La construcción de las vías de comunicación son una necesidad básica para un flujo de mercaderías y servicios a lo largo de un área, permite el desarrollo de una sociedad, el mejoramiento en la calidad de vida, ayuda a llenar las necesidades básicas de las comunidades rurales, etc.

La ingeniería permite describir los métodos de diseño estructural y geométrico, a través del diseño geométrico de una carretera y construcción del paquete estructural para un pavimento, que cumpla con los requisitos del manual de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).

En zonas montañosas, los costos de construcción de las carreteras son muy elevados, a causa de la escasez de materiales, y en la mayor parte se encuentran con la inestabilidad de suelos para su construcción. Estos caminos deben construirse de acuerdo a normas, para cubrir las necesidades de corto y largo plazo de las comunidades y los usuarios.

Con el manual de la ABC, se caracterizó el tramo como un terreno montañoso, realizando la clasificación de la categoría del camino de acuerdo a su velocidad de diseño, siendo un camino de Desarrollo 50 – 40 – 30 (km/h) para terrenos montañosos, se considera una velocidad de proyecto 25 (km/h) o menos, con un radio de curvatura mínimo de 17 (m), las pendientes mínimas no deben ser inferiores al 0,50% siendo ésta de 0,95% y las pendientes máximas acorde a su velocidad están entre 10% – 12%, el ancho de plataforma en base a los parámetros indicados, por tanto, se indican valores normativos correspondientes a las variables principales.

El diseño pretende contribuir al mejoramiento de las comunidades Río Grande – Yerba Buena (Distrito 5) pertenecientes al Municipio de Padcaya, proponiendo el diseño de apertura del tramo vial que une a estos centros poblados. De igual manera, con la implementación del diseño vial, se busca generar un efecto positivo en los usuarios que habitan la zona de influencia directa y el desarrollo de sus actividades socioeconómicas, su ejecución permitirá el mejoramiento de las condiciones de vida de los usuarios proporcionando un sistema de producción, comercialización más segura y alcanzar una

mejor alternativa de conexión con el Municipio de Padcaya y así, a su vez, con Tarija (Bolivia).

El diseño del tramo vial contempla todos los estudios necesarios, como ser: levantamiento topográfico, estudio de suelos, estudio de tráfico, estudio hidrológico, diseño geométrico, diseño del paquete estructural, diseño de obras de arte menor, cómputos métricos, análisis de precios unitarios y presupuesto general; el diseño se realizó de acuerdo al manual de la ABC.

## **1.2. Situación problemática**

El Municipio de Padcaya tiene como proyecto la elaboración de un documento acorde a los requerimientos del tramo en estudio que beneficiará a los comunarios, tendrá el estudio de diseño geométrico, estructural del tramo Río Grande – Yerba Buena.

Es una de las dificultades que presenta el tramo en estudio, siendo un camino de herradura su único medio de comunicación y al no tener un diseño vial el cual se adecúe con las especificaciones técnicas del manual de la ABC; en épocas de lluvias se torna poco transitable para los usuarios, la posibilidad de desarrollo social, económico y comunicación es perjudicada en estos centros poblados.

El criterio para la elaboración del diseño de ingeniería apertura del tramo vial Río Grande – Yerba Buena, se vuelve una necesidad dado que la Alcaldía de Padcaya ha contemplado entre sus planes el diseño de ingeniería de caminos y vías, pero debido a factores climáticos, económicos o cierres de gestión, muchas veces se dejan al último dando prioridades a otros proyectos.

El diseño proporciona una alternativa para que las comunidades puedan estar conectadas entre sí, permitiendo el traslado de los productos agrícolas para ser comercializados a los centros de abasto y consumo masivo, brindando un desarrollo social, económico que favorezca a los comunarios de Río Grande – Yerba Buena.

### **1.2.1. Problema**

¿Cómo el diseño de ingeniería del tramo vial Río Grande – Yerba Buena permite mejorar el desarrollo social y económico de las comunidades?

### **1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema**

La relevancia del diseño de ingeniería es de importancia debido a que permite a los usuarios una conexión rápida y segura entre estas zonas pobladas, el aumento de la producción agrícola y comercialización en el Municipio, para el mejoramiento de los ingresos económicos de los productores, provee el desarrollo humano mediante una cobertura de los servicios sociales y básicos para la satisfacción de las necesidades de la población rural. Es factible porque se puede contar con toda la información para el diseño, permite el levantamiento topográfico, estudio de suelos, estudio de tráfico, estudio hidrológico, diseño geométrico, estructural y así conocer la condición actual del tramo permitiendo determinar la categoría de camino. Se cuenta con el respaldo del Gobierno Municipal de Padcaya lo que se refiere a recursos económicos, maquinaria y equipo para la ejecución del diseño de ingeniería.

### **1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema**

El tiempo del diseño en este lineamiento tiene una perspectiva de corto, mediano y largo plazo, con acciones concretas en su desarrollo. La delimitación espacial del diseño de ingeniería comprende el tramo Río Grande – Yerba Buena, se enmarca en las coordenadas UTM de inicio: E: 315578,88 y N: 7562009,39 y las coordenadas finales E: 316869,32 y N: 7559038,89. Corresponde exclusivamente al Distrito 5, Municipio de Padcaya. Se efectúan encuestas a los comunarios del lugar donde influirá la vía y se realiza el levantamiento topográfico, estudio de suelos, estudio de tráfico, estudio hidrológico, diseño geométrico y estructural.

### **1.3. Justificación**

El crecimiento que se pretende lograr en el desarrollo de la Provincia Arce, debe empezar por vincular las comunidades. El tramo Río Grande – Yerba Buena no cuenta con una vía, siendo la necesidad de realizar el diseño para ver el impacto en las comunidades desde el punto de vista social, económico y comunicación vial, para satisfacer, apoyar, incentivar y generar mayores rendimientos en los productores, podrán transportar sus productos agrícolas a mercados de consumo, abrirá puertas para la distribución, comercialización de los mismos, permitiendo el desarrollo social, económico y oportunidades de mejorar las condiciones de vida de los comunarios de la zona.

También se verán beneficiados los comunarios que se dediquen a brindar el servicio de transporte público, privado, carga; el traslado será en movilidad (autos, camionetas, camiones, motos) en muy corto tiempo, también se podrá atender emergencias en el menor tiempo posible.

Desde el punto de vista económico, se realiza una evaluación económica tomando dos posibles alternativas de trazo, donde se seleccionará la alternativa que ahorre más recursos económicos, pero cumpliendo con los parámetros necesarios requeridos por el manual de la ABC.

Por lo tanto, el aporte académico consiste en una propuesta de diseño:

- El levantamiento topográfico del tramo e información del trabajo de campo, permitiendo la clasificación del tipo de camino a diseñar acorde al manual de la ABC; mediante esta clasificación, se contempla los parámetros de diseño empleados y de esta manera adoptar una velocidad de diseño, radios de curvatura mínima, peralte y pendientes mínimas.
- El diseño geométrico, basado en el levantamiento topográfico que es un diseño planimétrico y altimétrico del camino, como también se diseñarán las secciones transversales, se obtendrá el cálculo de volúmenes de corte como de relleno y las obras de arte menor que son de prioridad en un camino.
- El estudio de suelos, se realizó en el laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, para la obtención de datos coherentes de los tipos de suelos que fueron obtenidos cada 500 m en el tramo de estudio, revisados por los encargados de laboratorio.

- El estudio de tráfico, realizado durante siete días entre las comunidades de San Francisco Chico y El Carmen, debido a que presenta características similares al tramo de diseño para determinar el TPDA (tráfico promedio diario anual).
- Estudio hidrológico, en base a las precipitaciones máximas diarias, con los datos obtenidos de las estaciones de Cañas, La Merced y Padcaya para determinar las curvas de intensidad- duración- frecuencia, y de esta manera se calculó el escurrimiento máximo para diferentes probabilidades de ocurrencia.
- El diseño estructural, realizado de acuerdo a la norma americana AASHTO -93, planteándose dos alternativas que son el ripiado de plataforma y el tratamiento superficial. Optando por un ripiado de plataforma debido al poco tráfico y la categoría del mismo.
- Análisis del presupuesto general del diseño, tomando como base los costos que se manejan en la actualidad y en nuestro medio.
- Se presentará las memorias de cálculo realizadas en las diferentes etapas del diseño y sus respectivos planos que lo conforman.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar la apertura del tramo vial “Río Grande – Yerba Buena” de acuerdo a las normas y especificaciones de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras), para mejorar el desarrollo social y económico de la comunidad.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Realizar un levantamiento topográfico de la zona del proyecto.
- Elaborar el diseño geométrico para el tramo vial Río Grande – Yerba Buena.
- Identificar los parámetros de diseño.
- Diseñar el paquete estructural de la superficie de rodadura.
- Analizar el costo para la alternativa propuesta.

## 1.5. Operacionalización de las variables

### 1.5.1. Variable independiente

El diseño de ingeniería del tramo vial Río Grande – Yerba Buena.

**Tabla 1.1. Variable independiente**

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Técnicas e instrumentos
El diseño de ingeniería del tramo vial Río Grande – Yerba Buena.	El Diseño geométrico de carreteras es la técnica de ingeniería civil que consiste en situar el trazado de una carretera o calle en el terreno.	Diseño geométrico	Alineamiento horizontal	Estación total, GPS
			Alineamiento vertical	Manual ABC
		Estudio geotécnico	Granulometría	Tamizado
			Límites de Atterberg	Horno, balanza
				Copa de Casagrande
			Compactación	Proctor modificado
		Estudio de tráfico	CBR	Prensa de ensayo CBR
			Tráfico promedio diario anual (TPDA)	Formularios, datos.
		Estudio hidrológico	Tipo de vehículos	Observación directa
			Precipitación	Promedio de precipitación anual
		Diseño estructural	Escorrentía	Altura de agua de lluvias escurrida y extendida
			Base	Observación
			Sub base	Muestras de suelo
		Diseño de drenaje	Capa de rodadura	Ensayos de suelos
Cunetas	Drenaje superficial			
Alcantarillas	Drenaje transversal			

**Fuente:** Elaboración propia

### 1.5.2. Variable dependiente

Parámetros de diseño para un camino de Desarrollo.

**Tabla 1.2. Variable dependiente**

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Técnicas e instrumentos
Parámetros de diseño para un camino de Desarrollo.	Los parámetros de diseño son aquellos que se utilizan en el cálculo para los diversos elementos de una carretera, depende mucho de la categoría de camino.	Topografía	Pendientes	Estación total, GPS
			Orografía	
			Curvas de nivel	
			Perfil longitudinal	
		Categoría del camino	Tipo de terreno	Manual ABC
			Velocidad de proyecto	
			Tipo de vehículo	
		Velocidad de proyecto	Tipo de terreno	Manual ABC
			Categoría de la vía	
		Pendientes máximas	Velocidad de proyecto	Manual ABC
			Categoría de la vía	
		Peralte máximo	Velocidad del proyecto	Manual ABC
			Categoría de la vía	
		Radio mínimo	Velocidad de proyecto	Manual ABC
			Peralte máximo	
			Fricción transversal	
Categoría de la vía				
Ancho de plataforma	Categoría de la vía	Manual ABC		
	Velocidad de proyecto			
	Ancho de carril			
	Ancho de berma			
	Sobrecancho			

**Fuente:** Elaboración propia



## **1.6. Identificación del tipo de investigación**

El tipo de investigación es descriptivo, porque requiere una descripción y comprensión profunda de las condiciones actuales del área de influencia del proyecto, mediante la recolección de datos de campo y aplicación del manual de la ABC.

De acuerdo al fin que se pretende es aplicativo, porque se sustenta en los resultados y conocimientos adquiridos en la práctica y a partir de ellos se aplica para obtener los objetivos planteados.

## **1.7. Unidades de estudio y decisión muestral**

A continuación, se describe el procedimiento que determina las características que forman parte del tramo en estudio.

### **1.7.1. Unidad de estudio**

Es el diseño de ingeniería tramo vial, donde se representa los principios básicos para diseñar, trazar y replantar una carretera, teniendo en consideración por el manual de la ABC.

### **1.7.2. Población**

Constituye el tramo de estudio y el entorno en el cual se desarrolla, debido a que la unidad de estudio es el diseño de ingeniería en toda su longitud al 100%, la población contemplada es de 8,46 km.

### **1.7.3. Muestra**

La muestra es de 8,46 km que se encuentra en el tramo Río Grande – Yerba Buena. La recolección de muestreo es la siguiente:

- Obtención de muestras de suelos mediante calicatas cada 500 m.
- Seccionamiento topográfico.
- Estudio de tráfico durante 7 días.
- Estudio hidrológico.

## **1.8. Métodos y técnicas empleadas**

La metodología que se aplica en campo es a través de una reunión general con los beneficiarios, solicitándoles el permiso para el ingreso a sus propiedades. Se procede a registrar, observar, analizar todos los datos de campo y clasificarlos ordenadamente, para dar inicio a todos los estudios que se necesita realizar.

Se aplica los diferentes estudios como ser topográfico, hidrológico, geotécnico, geológico, tráfico y laboratorio de suelos, los cuales ayudan al diseño de ingeniería del tramo vial.

### **1.8.1. Métodos**

Para el diseño de ingeniería se realizó los siguientes estudios:

#### **a) Topografía**

El levantamiento topográfico se lo realizó formando una poligonal en base a una red geodésica implantando su nivelación y posterior procesamiento de datos en gabinete.

#### **b) Geotecnia**

Las muestras recolectadas han sido enviadas al laboratorio para la ejecución de los correspondientes ensayos físico-mecánicos, es decir granulometrías, límites de Atterberg, compactación y CBR. Se utiliza el método AASTHO para la clasificación de los suelos.

#### **c) Hidrología**

Para el análisis y cálculo de las lluvias máximas diarias para diferentes periodos de retorno, seguimos la siguiente metodología, para el modelo de distribución de probabilidades seleccionado inicialmente en el paso anterior, se realizó las pruebas de bondad de ajuste. Para el cálculo de las intensidades máximas, se utilizó el método de Log Pearson III y para el cálculo de caudales máximos se manejaron los métodos de la fórmula racional.

#### **d) Tráfico**

El estudio de tráfico se realizó durante siete días, en un punto estratégico del tramo para determinar el TPDA, TPH y el TPD, los cuales sirvieron para efectuar el diseño del paquete estructural.

#### **e) Diseño geométrico**

El trazo geométrico se logra adoptando el manual de la ABC, se realizó utilizando el software AutoCAD Civil 3D.

#### **f) Diseño del paquete estructural**

El diseño del pavimento se lo realizó adoptando la norma americana AASHTO – 93, donde se plantean alternativas como riplado de plataforma y tratamiento superficial. Además, se diseñó los espesores de la capa subbase, capas base y capa de rodadura.

**g) Diseño de estructuras de obras de arte menor**

El diseño de las obras de arte menor se las realizó tomando en cuenta el manual de la ABC, se creó alcantarillas según requiera el diseño, además, se utilizó el programa Hcanales para realizar el dimensionamiento de cunetas.

**h) Cómputos métricos**

Se realizó los cómputos métricos para determinar las cantidades de los materiales y los volúmenes de obra.

**i) Precio unitario y presupuesto**

El análisis de precios unitarios se efectuó tomando en cuenta las incidencias correspondientes para luego sacar el presupuesto general de la obra.

**j) Especificaciones técnicas**

Las especificaciones técnicas se las realizó para establecer los parámetros de control, los cuales servirán al momento de ejecutar la obra.

**k) Estudio de impacto ambiental**

Para el estudio ambiental se realizó el llenado de la ficha ambiental y también de la matriz ambiental para determinar a qué categoría corresponde el proyecto y así establecer las medidas de mitigación y medio ambientales.

**1.8.2. Técnicas**

Las técnicas realizadas serán manuales y observacionales (tanto para la recolección de muestras) e intelectuales (para la aplicación de programas que servirá para el diseño geométrico, estructural y precios).

El proyecto está rígidamente sometido a las normas técnicas, el diseño y los costos; se debe acomodar según los objetivos y resultados que se pretenden lograr con el proyecto. Para realizar el diseño, analizar los costos y lograr el mejor proyecto, se realiza un estudio de campo, en el que se determinará el proceso que debe seguir el mismo.

Los cálculos para cada uno de los componentes del proyecto están estructurados según la obra que se realiza y según estudios realizados. Por otro lado, el material a utilizar en la construcción y los costos se detallan en el análisis de precios unitarios.

Las especificaciones técnicas para cada componente estarán de acuerdo al diseño que exige el proyecto, cada componente se detalla y se explicará en qué consistirá y qué es lo que se hará en cada uno de ellos.

Toda infraestructura del proyecto está basada en las normas técnicas vigentes en el país para este tipo de construcciones, como en estudios y diseños que exige este tipo de proyecto, como así mismo en los reglamentos establecidos para la implementación y construcción del mismo.

### **1.9. Procesamiento de la información**

Los datos e información que se solicitó para el diseño de ingeniería se recogieron efectuando encuestas y entrevistas a los pobladores del sector, tomando especial consideración para verificar los objetivos y la hipótesis planteada.

Concluido el proceso de recolección de la información, se procedió a realizar la propuesta técnica, que contó con:

- Levantamiento topográfico.
- Diseño geométrico del tramo vial.
- Estudios previos al diseño (estudio de tráfico, estudios hidrológicos y estudio geotécnico).
- Diseño del paquete estructural (tratamiento superficial y ripiado de plataforma).
- Análisis de precios unitarios.
- Presupuesto general para el diseño de ingeniería.
- Una vez terminado el trabajo, el diseño de ingeniería se realizó junto al diseño de los planos requeridos con sus respectivas especificaciones y su correspondiente análisis de precios unitarios y presupuesto general.

### **1.10. Alcance de diseño final de ingeniería**

El alcance del proyecto es el diseño de ingeniería que une el tramo Río Grande con Yerba Buena, cuenta con una longitud de 8,46 km, el diseño tiene una categoría de Desarrollo en base a la norma y especificaciones técnicas del manual de la ABC. Además, se cuenta con el soporte técnico del software AutoCAD Civil 3D; con la información obtenida se tiene contemplado realizar el diseño geométrico basado en el levantamiento topográfico y la categoría de camino. Se trabaja en la planimetría altimetría del diseño de las secciones transversales, se obtiene el cálculo de volúmenes de corte como de relleno, la ubicación de sus obras hidráulicas de arte menor que son de prioridad en un camino para así proponer

una mejor alternativa de diseño que se ajuste a un presupuesto general, permitiendo mejores condiciones de vida a los usuarios de la zona.

El diseño estructural establece las dimensiones de los espesores de las capas que conforma la estructura de soporte, se hace un análisis de dos tipos de diseño: tratamiento superficial y ripiado de plataforma, utilizando los resultados de estudio de tráfico, estudio de suelos aplicando el método AASTHO.

Teniendo en cuenta los volúmenes de cada actividad, se determina los cálculos métricos, análisis de precios unitarios y el presupuesto general de la alternativa propuesta, es decir, el diseño en toda su magnitud con los precios actuales en el mercado y la elaboración de las especificaciones técnicas para cada uno de sus componentes que se deben cumplir con el objetivo del proyecto.

Finalmente, se presenta las memorias de cálculo realizadas en las diferentes etapas del diseño con su respectiva elaboración de planos.

**CAPÍTULO II**  
**PARÁMETROS DE DISEÑO**

## CAPÍTULO II PARÁMETROS DE DISEÑO

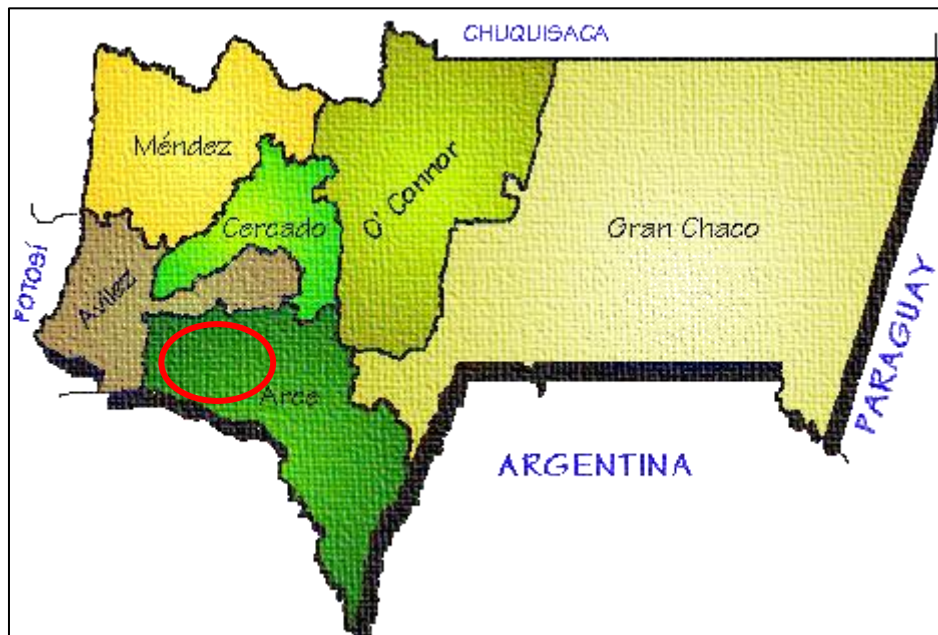
### 2.1. Ubicación del proyecto

El proyecto se localiza en la Comunidad de Río Grande y Yerba Buena del Distrito 5 del Municipio de Padcaya, Primera Sección de la Provincia Arce del Departamento de Tarija, Estado Plurinacional de Bolivia.

#### 2.1.1. Ubicación geográfica

El área de intervención del proyecto se ubica entre las coordenadas de inicio: E: 315578,88 y N: 7562009,39 y las coordenadas finales E: 316869,32 y N: 7559038,89; limita al norte con la comunidad de San Francisco, al sur con la comunidad de Santa Rosa, al este con la comunidad de San Francisco Chico y al oeste con la comunidad del Carmen.

**Figura 2.1. Localización del proyecto ámbito departamental**



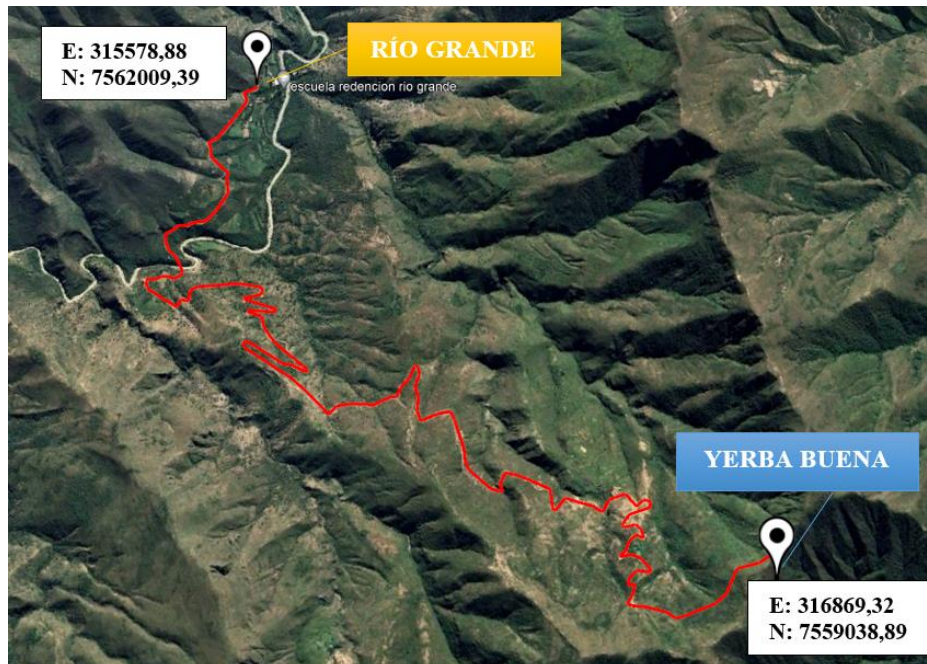
**Fuente:** Educa Bolivia

**Figura 2.2. Localización del proyecto ámbito provincial**



Fuente: Educa Bolivia

**Figura 2.3. Imagen satelital ubicación de la zona del proyecto**



Fuente: Elaboración propia, Google earth



### 2.1.2. Características generales de la zona del proyecto

A continuación, se describen las siguientes características:

#### a) Población, viviendas y familias por distrito

Los miembros de la comunidad del proyecto que se beneficiarán de la implementación directa del diseño son: Río Grande con una población de 79 habitantes y Yerba Buena con una población de 61 habitantes, como se muestra en la siguiente tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Población vivienda y familias por distrito y comunidad**

<b>Distrito</b>	<b>Comunidad</b>	<b>Población</b>	<b>Viviendas</b>	<b>N° de familias</b>
<b>Distrito V El Carmen</b>	El Carmen	248,00	74,00	57,00
	San Francisco	60,00	22,00	14,00
	Santa Rosa	22,00	15,00	5,00
	Río Grande	79,00	27,00	18,00
	Yerba Buena	61,00	16,00	14,00

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística (INE)

#### b) Aspectos productivos

La producción agrícola y ganadera que se da especialmente en las comunidades de Río Grande – Yerba Buena son las que se pueden apreciar en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2. Cultivos y ganadería por comunidades**

<b>Distrito</b>	<b>Comunidades</b>	<b>Cultivos y ganadería</b>	<b>Descripción</b>
<b>Distrito V El Carmen</b>	San Francisco Río Grande	Papa, maíz, trigo, arveja, haba, oca y papaliza.	Cultivos a riego, pastoreo intensivo con pajonales y pastizales de altura, en forma tradicional y dispersa.
		Ovinos, caprinos y vacunos.	

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística (INE)

### c) Infraestructura

Las comunidades mencionadas no cuentan con infraestructura vial y de transitabilidad estable todo el año, para su conexión con los principales mercados de comercialización.

### d) Servicios básicos, salud y educación

Contar con los servicios básicos en cualquier comunidad es de vital importancia. Los servicios con los que se cuentan son:

#### Educación

Se cuenta con una unidad educativa en la comunidad de Río Grande y Yerba Buena solo hasta nivel primario.

#### Medios de comunicación

Servicios de comunicación en forma de teléfonos celulares en ciertos lugares del área de estudio.

#### Sistema de alcantarillado

La zona de estudio carece de un sistema de alcantarillado en las viviendas.

**Tabla 2.3. Saneamiento básico**

Distrito	Comunidad	Viviendas	Disponibilidad de servicio sanitario (%)		
			Alcantarillado	Cámara séptica	Pozo ciego
Distrito V El Carmen	El Carmen	74,00	0,00	4,05	6,76
	San Francisco	22,00	0,00	4,55	77,27
	Santa Rosa	15,00	40,00	0,00	33,33
	Río Grande	27,00	0,00	0,00	11,11
	Yerba Buena	16,00	0,00	0,00	0,00

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística (INE)

### Agua potable

La dotación de agua potable es por tubería de red en la zona de estudio, así también como de pozos, ríos, lluvias y vertientes.

**Tabla 2.4. Cobertura de agua para consumo humano**

Distrito	Comunidad	Viviendas	Disponibilidad de servicio sanitario (%)		
			Tubería	Pozo	Lluvia, ríos
Distrito V El Carmen	El Carmen	74,00	79,73	1,35	6,76
	San Francisco	22,00	54,55	0,00	31,82
	Santa Rosa	15,00	73,33	13,33	0,00
	Río Grande	27,00	11,11	3,70	77,78
	Yerba Buena	16,00	75,00	0,00	18,75

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística (INE)

### Energía eléctrica

Cuenta con cobertura eléctrica, pero es muy baja.

**Tabla 2.5. Servicio de energía eléctrica**

Distrito	Comunidad	Viviendas	Procedencia de energía eléctrica (%)		
			Energía eléctrica	Motor	Panel solar
Distrito V El Carmen	El Carmen	74,00	48,65	0,00	27,03
	San Francisco	22,00	40,91	0,00	18,18
	Santa Rosa	15,00	40,00	0,00	26,67
	Río Grande	27,00	3,70	0,00	0,00
	Yerba Buena	16,00	0,00	0,00	75,00

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística (INE)

## Salud

El establecimiento de salud más próximo para los beneficiarios del diseño Río Grande – Yerba Buena, se puede apreciar en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6. Red de salud**

<b>Distrito</b>	<b>Establecimiento de salud</b>	<b>Comunidades</b>
<b>Distrito V El Carmen</b>	Posta de Salud El Carmen	El Carmen
		Santa Rosa
		Yerba Buena
	Posta de Salud San Francisco	San Francisco
		Río Grande

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística (INE)

### 2.2. Estudios previos al diseño

Para el diseño del tramo vial Río Grande – Yerba Buena se realizó los siguientes estudios:

#### 2.2.1. Estudio topográfico

Es necesario partir de las características del terreno donde se va a ejecutar el diseño geométrico, para ello se recurre a la topografía la cual ayuda a realizar un levantamiento topográfico de la zona de estudio y así obtener la representación gráfica de las características del terreno para el emplazamiento del proyecto. La investigación topográfica, se subdivide en dos etapas:

- Trabajo de campo.
- Trabajo de gabinete y procesamiento de datos.

##### 2.2.1.1. Trabajo de campo

El estudio topográfico fue realizado con la autorización y coordinando acciones con el Gobierno Autónomo Municipal de Padcaya, mi persona y una brigada de comunarios de Río Grande y Yerba Buena, cabe mencionar el apoyo del técnico topógrafo Rodrigo Torrez como encargado que tomó las iniciativas para la distribución de los puntos estratégicos del lugar.

En esta etapa se fijaron los criterios básicos para el levantamiento topográfico como posibles variantes, pendientes admisibles, radios de curvatura mínimos y localización de obras de arte. La forma más adecuada de trabajar la topografía de un proyecto vial, debe seguir los siguientes pasos:

### **Procedimiento de nivelación de BMs**

- Se realizó el establecimiento de un mojón que sirva como punto auxiliar de la poligonal base, el mismo debe estar enlazado al sistema de coordenadas UTM, mediante puntos de control satelital GPS. Luego a partir de la poligonal base y utilizando la estación total, hicimos las medidas angulares y de distancias que definieron las coordenadas de este punto, además de su cota.
- La nivelación se realizó con la estación total, empleando el método de ida y vuelta y control de cierre en BMs, de esta manera se implementaron del PB-3 al PB-4. Estos bancos de nivel se materializaron por medio de mojones pintados, estos BMs están distribuidos a lo largo de la faja de levantamiento a una distancia de 500 m aproximadamente entre BM y BM.
- Se colocaron los BMs en sitios seguros y visibles, así como referencias auxiliares, ubicados en lo posible fuera del área de construcción de la vía, a fin de no ser removidos durante las obras.
- Paralelamente a la nivelación de bancos de nivel BMs y se realizó la nivelación de los puntos de la poligonal base y auxiliares de todo el tramo con la finalidad de proporcionar cota geométrica a estos puntos.
- La precisión de la nivelación de los puntos GPS y bancos de nivel no deben ser mayores a la relación  $\pm \sqrt{K}$  ( $K =$  Distancia entre puntos nivelados), en caso de que el error sea mayor a la tolerancia, se debe revisar los cálculos.

Se hace una descripción de los BMs para una fácil ubicación.

**Tabla 2.7. Coordenadas de puntos BMs**

N°	Este	Norte	Elevación	Descripción
1	3152817,94	75616428,15	20076,78	PB-3
2	3152982,07	75615495,05	19989,49	PB-4
3	3152209,23	75615087,95	20142,10	PB-5
4	3151476,38	75614780,31	20209,06	PB-6
5	3150439,50	75614475,62	19995,72	PB-7
6	3149514,58	75613010,51	19761,52	PB-8
7	3151241,86	75611003,78	20709,42	PB-9
8	3152790,98	75608774,44	21553,07	PB-10
9	3152864,99	75607289,96	21985,61	PB-11
10	3152914,22	75606833,23	22143,92	PB-12
11	3158880,97	75601077,85	24240,42	PB-18
12	3158970,67	75600897,09	24285,71	PB-19
13	3160343,51	75598119,05	24499,83	PB-20
14	3163097,75	75596439,61	24916,06	PB-21
15	3163784,31	75595562,97	25071,48	PB-22
16	3164442,03	75594576,60	25585,71	PB-23
17	3164636,13	75593489,91	25964,93	PB-24
18	3163950,11	75591546,67	26557,34	PB-25
19	3169354,08	75590547,98	27683,97	PB-26
20	3169653,09	75590868,06	27688,86	PB-27
21	3170915,44	75591032,21	27858,46	PB-28

**Fuente:** Elaboración propia

A continuación, se mostrará la nomenclatura que se utilizó en el levantamiento.

**Tabla 2.8. Nomenclatura de la topografía**

Sigla	Descripción
EC	Eje de camino
BC	Borde de camino
PC	Pie de camino
TN	Terreno natural
Q	Quebrada
EQ	Eje de quebrada
PQ	Pie de quebrada
BR	Borde de río
PR	Pie de río
CS	Casa
CRRL	Corral

**Fuente:** Elaboración propia

### Procedimiento de levantamiento topográfico

- Paralelamente al cálculo de la poligonal principal, auxiliar y del levantamiento topográfico, se fueron también enlazando los bancos de nivel (BMs.), obteniendo coordenadas referenciales para la ubicación de éstos y el control de precisión de la misma.
- Una vez obtenidos datos independientes de cálculo de coordenadas de la poligonal principal, auxiliar y cotas de la nivelación se procede a la verificación de las cotas trigonométricas con las geométricas y si las diferencias están dentro de las tolerancias exigidas, se adoptan las cotas geométricas para el cálculo final del levantamiento de la faja topográfica por lo que todos los datos de coordenadas UTM obtenidos, estarían referidos a cota geométrica de medición.
- A partir de los puntos de poligonal base y con la estación total, se realizó el replanteo y estacado, tomando como punto inicial en coordenadas este  $E = 315578,88$  y norte  $N = 7562009,39$ . Siguiendo el eje preliminar de un camino de herradura a través de los  $8457,20$  m del tramo, se realizó con su respectiva numeración que fueron colocadas a lo largo del tramo en estudio, cada  $20,00$  m y tomando como franja de levantamiento de  $40,00$  m ( $20,00$  m a cada lado del eje de la poligonal), trazo hasta llegar a una coordenada final de  $E = 316869,32$  y el  $N = 7559038,89$ .

**Figura 2.4. Imágenes del levantamiento topográfico**



**Fuente:** Elaboración propia

- El levantamiento de secciones transversales debe levantarse en una longitud suficiente para poder definir exactamente los volúmenes de tierra a mover, tanto en corte como en relleno, en nuestro caso se tomó un ancho aproximadamente de unos 30,00 m tomando todos los relieves importantes del terreno hasta llegar a la distancia citada, realizando el levantamiento a detalle del mismo solamente en los puntos críticos de cada uno de los tramos determinados previamente con el técnico en topografía (Rodrigo Torrez). Se tuvo especial cuidado para levantar secciones en posiciones intermedias cuando existían variaciones de relieve del terreno importantes que no hayan sido tomadas por el seccionamiento efectuado sobre el estacado.

**Figura 2.5. Imagen satelital para el tramo en estudio**



**Fuente:** Elaboración propia, Google earth

- Con el levantamiento topográfico, se obtuvo a detalle el cruce de quebradas para el diseño de obras de arte o estructuras especiales y así también otra información de importancia para la representación gráfica del terreno.

Un total de 3910 puntos levantados para la realización del proyecto, entre ellos tenemos el eje por donde actualmente se transita, con esta información mediante procedimientos de gabinete, se obtendrán las curvas de nivel necesarias para el diseño del camino bajo las normativas vigentes.



**Tabla 2.9. Levantamiento topográfico**

N°	Este	Norte	Elevación	Descripción
1	315583,19	7562012,03	1963,32	EC
2	315581,37	7562012,86	1963,41	PC
3	315580,59	7562013,49	1965,13	BC
4	315585,99	7562010,69	1962,83	AP
5	315577,35	7562015,35	1966,77	TN
6	315590,10	7562009,01	1961,10	TN
7	315572,39	7562017,36	1969,21	TN
8	315594,51	7562006,62	1958,56	TN
9	315571,14	7562002,03	1962,73	EC
10	315572,09	7561998,24	1962,83	AP
11	315570,21	7562005,29	1962,74	PC
12	315569,67	7562007,50	1966,12	BC
13	315573,35	7561993,71	1958,34	TN
14	315567,19	7562015,11	1969,54	TN
15	315548,43	7562005,17	1962,29	EC
16	315560,98	7562002,17	1962,59	EC
17	315543,11	7562005,85	1962,73	EC
18	315542,82	7562003,67	1962,36	AP
19	315543,25	7562007,49	1962,97	PC
20	315543,29	7562008,39	1964,27	BC
21	315543,90	7562012,74	1964,65	TN
22	315541,82	7561996,87	1961,13	TN
23	315533,13	7562005,87	1964,13	EC
24	315511,48	7562008,49	1964,16	EC
25	315511,15	7562005,78	1963,68	AP
26	315511,53	7562010,54	1964,38	TN
27	315511,84	7562013,22	1966,15	TN
28	315510,88	7562001,06	1960,39	TN
29	315512,46	7562019,87	1969,87	TN
30	315509,92	7561996,20	1960,08	TN
31	315503,89	7562015,73	1965,54	E
32	315506,85	7562004,88	1961,00	Q
33	315506,91	7562011,23	1961,73	Q
34	315498,20	7562016,45	1962,45	PQ
35	315495,93	7562011,94	1962,24	PQ

**Fuente:** Elaboración propia

En el ANEXO I (levantamiento topográfico) se muestra el detalle completo de coordenadas geográficas y su respectivo levantamiento.

### **2.2.1.2. Trabajo de gabinete y procesamiento de datos**

- Una vez recogidos los datos que la estación nos proporcionó en coordenadas se procedió a trabajarlo en un programa de AutoCAD Civil 3D que es una herramienta avanzada que nos ayuda mucho. Simplificando el tiempo de trabajo, se partió de la categoría de camino y la normativa correspondiente al manual de la ABC, también se tomaron parámetros de diseño para el trazado geométrico y algunas tablas que se ven más adelante.
- El levantamiento tuvo el objetivo de proporcionar los datos necesarios para la confección del plano en planta estacado cada 20,00 m, perfil longitudinal y perfiles transversales cada 20,00 m en rectas y cada 15,00 m en curvas, permitiendo calcular el movimiento de tierras más rentable, también se pudo localizar las obras de arte.

### **2.2.2. Estudio geotécnico**

El estudio geotécnico se realizó en el tramo Río Grande – Yerba Buena dentro del departamento de Tarija, provincia Arce, abarca la mecánica de suelos, por ende, comprende el estudio de suelos, más sus propiedades físico – mecánicas, para así determinar las condiciones geotécnicas de los materiales que constituyen el perfil de la subrasante natural. La investigación geotécnica, se subdivide en las siguientes etapas:

- Etapa de campo.
- Etapa de laboratorio y gabinete.

El procedimiento que se realizó para cada una de las etapas fue la siguiente:

#### **2.2.2.1. Etapa de campo**

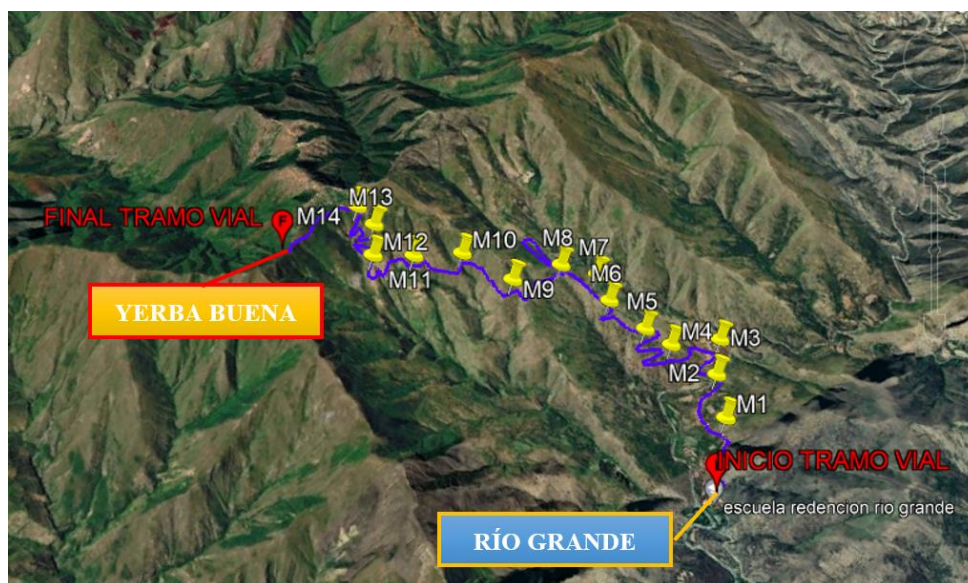
Consiste en la excavación manual de 15 calicatas cada 500,00 m donde se tiene previsto la implementación del eje preliminar del camino Río Grande – Yerba Buena, partiendo desde la progresiva 0 + 500 con una profundidad mínima desde 0,50 m a 1,00 m, obteniendo de cada apique una cantidad aproximada de muestra de 40,00 Kg, con la finalidad de conocer la distribución de los diferentes materiales determinados en punto de exploración.

**Tabla 2.10. Muestreo para calicatas**

N°	Progresiva	Muestra
1	0 + 500	M1
2	1 + 000	M2
3	1 + 500	M3
4	2 + 000	M4
5	2 + 500	M5
6	3 + 000	M6
7	3 + 500	M7
8	4 + 000	M8
9	4 + 500	M9
10	5 + 000	M10
11	5 + 500	M11
12	6 + 000	M12
13	6 + 500	M13
14	7 + 000	M14
15	7 + 500	M15

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 2.6. Ubicación de los pozos de muestreo**



**Fuente:** Elaboración propia, Google earth

**Figura 2.7. Extracción de muestras**



**Fuente:** Elaboración propia

#### **2.2.2.2. Etapa de laboratorio**

Las muestras obtenidas se las llevó al laboratorio de suelos, ubicado en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para su respectivo análisis especializado de mecánica de suelos. Los ensayos de laboratorio son los siguientes:

##### **Determinación del contenido de humedad**

- La muestra tomada para la determinación debe ser representativa del suelo cuya humedad se quiere conocer, por lo que se trabajó con el método del horno.
- Se pesaron las cápsulas registrando dichos datos, cabe hacer notar que deben identificarse las cápsulas ya sea con números o letras.
- Se llenaron las cápsulas con el suelo, registrando el peso de suelo húmedo más la cápsula, se introdujeron las cápsulas con suelo al horno durante 24 horas, a una temperatura de 105 - 110°C, se extrajo del horno y pesó, registrando el valor obtenido de peso de suelo seco más la cápsula; si es que se encuentran muy calientes o si se demora el pesaje, hay que tener las cápsulas cubiertas de manera

que no absorba humedad de la atmósfera dentro del laboratorio (Braja M. Das, 2013; Bowles, J.1981).

**Figura 2.8. Ensayo contenido de humedad**



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.11. Contenido de humedad**

<b>Humedad natural</b>			
<b>Cápsula</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de suelo húmedo + cápsula	40,90	37,00	41,00
Peso de suelo seco + cápsula	39,50	35,90	39,70
Peso de cápsula	13,20	13,10	13,30
Peso de suelo seco	26,30	22,80	26,40
Peso del agua	1,40	1,10	1,30
Contenido de humedad	5,32	4,82	4,92
<b>Promedio</b>	<b>5,02</b>		

<b>Clasificación del suelo</b>	<b>SUCS AASHTO</b>	<b>SC A-2-6 (0)</b>
<b>Descripción</b>	Arena arcillosa con grava de baja plasticidad	

**Fuente:** Elaboración propia

### **Análisis granulométrico**

- Se realizó la distribución granulométrica de los materiales constitutivos del suelo, mediante la vía del tamizado según ASTM. (este proceso se realizó desde el tamiz de 2 1/2" hasta el tamiz N°200).



**Tabla 2.12. Número de tamices con su respectivo diámetro**

Tamices	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
Tamaño (mm)	63,00	50,00	37,50	25,00	19,00	12,50	9,50	4,75	2,00	0,425	0,075

**Fuente:** Guía AASHTO – 93

- Para empezar con el ensayo de granulometría, se procedió a pesar 5000 gr aproximadamente para material granular y 300 gr para material fino, luego se procedió al lavado del material para quitar las impurezas, posteriormente se colocó en el horno para el secado durante 24 h.
- Finalmente se comenzó el tamizado de manera manual, luego se pesó el retenido de material, si hubiere, en cada tamiz y anotando los valores de pesos retenidos en planillas para este ensayo (Braja M. Das, 2013; Bowles, J. 1981).

**Figura 2.9. Ensayo de granulometría**



**Fuente:** Elaboración propia

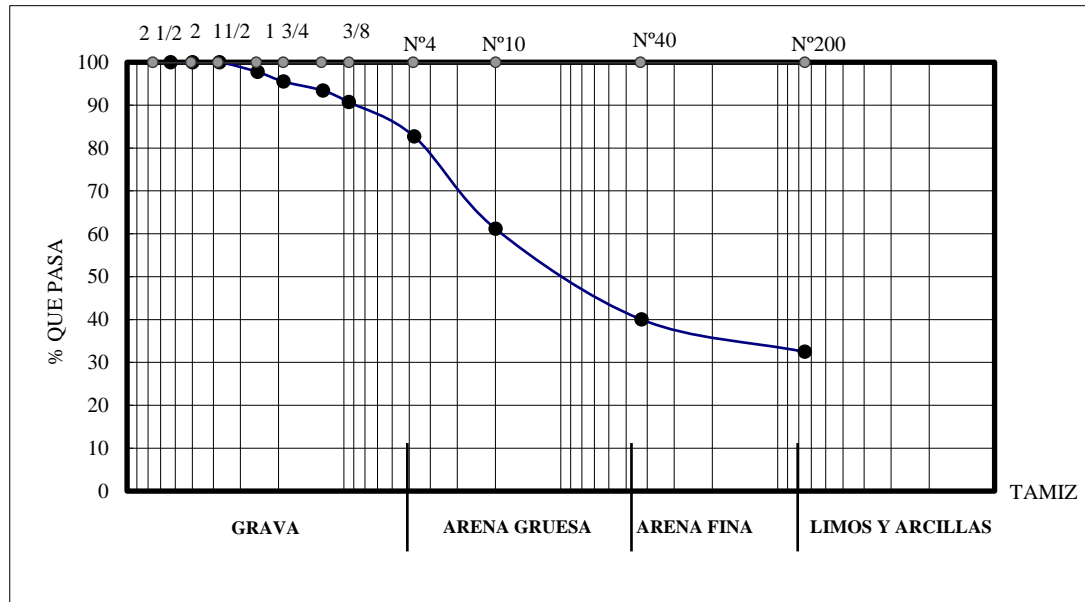
A continuación, se presenta la granulometría para la muestra M1 progresiva 0+000.  
 Muestra = 5000 gr.

**Tabla 2.13. Tamizado del suelo**

Peso Total (gr.)			5000	A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum. (gr)	% Ret.	% Que pasa del total
2 1/2"	63,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
2"	50,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
1"	25,00	113,50	113,50	2,27	<b>97,73</b>
3/4"	19,00	111,70	225,20	4,50	<b>95,50</b>
1/2"	12,50	105,15	330,35	6,61	<b>93,39</b>
3/8"	9,50	133,90	464,25	9,29	<b>90,72</b>
Nº4	4,75	400,31	864,56	17,29	<b>82,71</b>
Nº10	2,00	1077,41	1941,97	38,84	<b>61,16</b>
Nº40	0,425	1057,40	2999,37	59,99	<b>40,01</b>
Nº200	0,075	377,70	3377,07	67,54	<b>32,46</b>
base	-	6,10	3383,17	67,66	<b>32,34</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfica 2.1. Curva granulométrica**



**Fuente:** Elaboración propia

## **Límites de consistencia o límites de Atterberg**

- **Límite líquido (LL).** Para la determinación del límite líquido, primero se tamizó una cantidad de muestra (300gr.) por el tamiz N°40, el material que pasó por este tamiz se lo utilizó en el ensayo, primero se dio a la muestra una determinada humedad mojándola hasta que la misma tenga forma de pasta o masa, esta masa fue colocada en el equipo Casagrande y fue separada a la mitad con el ranurador, luego se procedió a dar los golpes y contarlos hasta que la ranura realizada se uniera aproximadamente un centímetro, se sacó la muestra de la parte que se unió, se la pesó, se identificó la tara y se puso a secar en el horno 24 h; se realizó esto tres veces (por muestra) variando la cantidad de agua y siguiendo el procedimiento descrito párrafos más arriba, se anotaron todos los datos en la planilla correspondiente a este ensayo, haciendo mención que el suelo presente en todo el tramo sí presenta límites líquidos. (Braja M. Das, 2013)
- **Límite plástico (LP).** Para determinar el límite plástico se emplea una base de vidrio con la muestra que pasa el Tamiz N°40, se la humedece y se hacen rollitos en la base de vidrio hasta que tengan un diámetro aproximado de 3 mm y presenten agrietamientos; se toma la muestra, se la pesa y se la coloca en el horno, luego de 24 h se la vuelve a pesar para obtener el peso del agua y contenido de humedad, haciendo mención que el suelo presente en todo el tramo sí presenta límites plásticos. (Braja M. Das, 2013; Bowles, J. 1981).
- **Índice de plasticidad (IP).** Es la diferencia entre LL y el LP.

$$IP = LL - LP$$



**Figura 2.10. Ensayo de límite líquido y límite plástico**



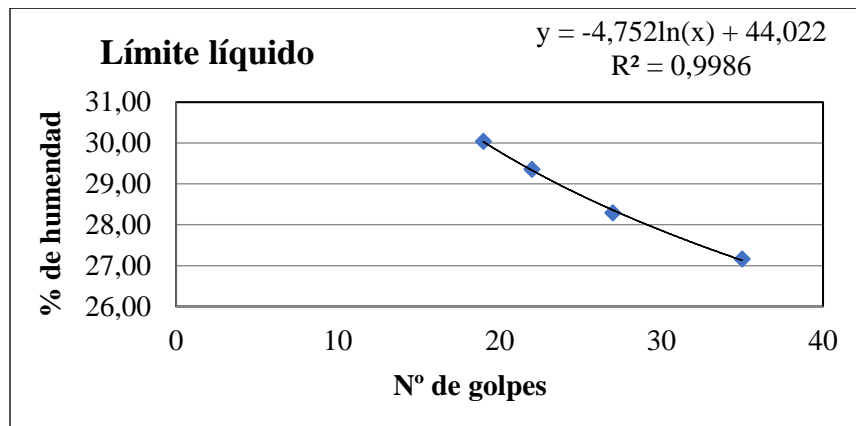
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.14. Determinación del límite líquido**

Cápsula N°	1	2	3	4
N° de golpes	19,00	22,00	27,00	35,00
Suelo húmedo + cápsula	47,25	49,11	48,83	45,97
Suelo seco + cápsula	39,25	41,13	41,05	38,59
Peso del agua	8,00	7,98	7,78	7,38
Peso de la cápsula	12,62	13,95	13,55	11,42
Peso suelo seco	26,63	27,18	27,5	27,17
Porcentaje de humedad	30,04	29,36	28,29	27,16

**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfica 2.2. Límite líquido**



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.15. Determinación del límite plástico**

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + cápsula	16,54	15,67	16,21
Peso de suelo seco + cápsula	16,20	15,25	15,86
Peso de cápsula	13,89	12,48	13,35
Peso de suelo seco	2,31	2,77	2,51
Peso del agua	0,34	0,42	0,35
Contenido de humedad	14,72	15,16	13,94

**Fuente:** Elaboración propia

Límite Líquido (LL) = 29

Índice de plasticidad (IP) = 14

Límite Plástico (LP) = 15

Índice de Grupo (IG) = 0

### **Determinación del grado de compactación mediante el ensayo Proctor T180**

➤ Para la compactación, se utilizó el proctor T-180, para lo cual se tomaron las muestras obtenidas de campo y fueron tamizadas por el tamiz N°3/4 y N°4, para luego compensar con el retenido 46 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 en cada capa; se desarma la probeta y se extrae la muestra del corazón de la misma, es pesada y puesta en el 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 es anotado en planilla para este tipo de ensayo (Braja M. Das, 2013; Bowles, J. 1981).

**Figura 2.11. Ensayo de compactación**



**Fuente:** Elaboración propia

A continuación, mostraremos la planilla de datos y resultados.

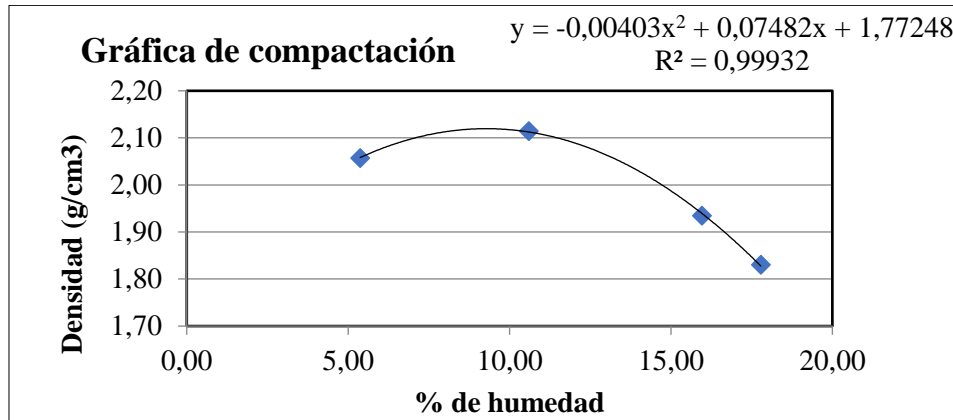
Volumen de la muestra = 2105,80 cm<sup>3</sup>

**Tabla 2.16. Compactación**

<b>Nº de capas</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Nº de golpes por capa</b>	<b>56,00</b>	<b>56,00</b>	<b>56,00</b>	<b>56,00</b>
Peso suelo húmedo + molde	11030,00	11390,00	11190,00	11005,00
Peso del molde	6465,00	6465,00	6465,00	6465,00
Peso suelo húmedo	4565,00	4925,00	4725,00	4540,00
Volúmen de la muestra	2105,80	2105,80	2105,80	2105,80
Densidad suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2,17	2,34	2,24	2,16
Cápsula Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + cápsula	60,73	61,90	62,79	63,80
Peso suelo seco + cápsula	58,30	57,29	55,92	56,10
Peso del agua	2,43	4,61	6,87	7,7
Peso de la cápsula	13,06	13,78	12,87	12,8
Peso suelo seco	45,24	43,51	43,05	43,3
Contenido de humedad (%h)	5,37	10,60	15,96	17,78
Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2,06	2,11	1,94	1,83

**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfica 2.3. Curva de compactación**



**Fuente:** Elaboración propia

Densidad máxima = 2,12 gr/ cm<sup>3</sup>

Humedad óptima = 9,28 %

#### **Determinación de la capacidad de soporte CBR.**

- El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte.
- Se realizó el tamizado por el tamiz N°3/4 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 56, 25 y 12 golpes), el suelo al cual se aplica el ensayo.
- 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 (Braja M. Das, 2013; Bowles, J. 1981).

A continuación, presentamos los datos y cálculos del CBR para la muestra M1 progresiva 0+000.

**Figura 2.12. Ensayo del CBR**



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.17. Contenido de humedad y peso unitario**

N° Capas	5			5			5		
N° Golpes por capa	12			25			56		
Condición de la muestra	Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M	
Peso muestra húm. + molde	12370,00	12525,00		12535,00	12770,00		12640,00	12850,00	
Peso molde	7995,00	7995,00		7955,00	7955,00		7260,00	7260,00	
Peso muestra húmeda	4375,00	4530,00		4580,00	4815,00		5380,00	5590,00	
Volumen de la muestra	2412,70	2412,70		2226,60	2412,70		2402,50	2412,70	
Peso unit. muestra húm.	1,81	1,88		2,06	2,00		2,24	2,32	
Muestra de humedad	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	86,34	86,72	86,64	76,28	76,73	76,89	87,57	87,73	87,69
Peso muestra seca + tara	77,41	77,73	77,8	69,45	68,77	69,94	80,56	79,8	80,61
Peso del agua	8,93	8,99	8,84	6,83	7,96	6,95	7,01	7,93	7,08
Peso de tara	12,70	12,46	12,91	12,16	12,56	10,05	12,16	12,98	12,55
Peso de la muestra seca	64,71	65,27	64,89	57,29	56,21	59,89	68,4	66,82	68,06
Contenido humedad %	13,80	13,77	13,62	11,92	14,16	11,60	10,25	11,87	10,40
Promedio cont. humedad	13,79		13,62	13,04		11,60	11,06		10,40
Peso unit. muestra seca	1,59		1,652	1,82		1,79	2,02		2,10

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.18. Expansión**

Fecha	Hora	Tiempo en días	Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3					
			Lect.		Expansión		Lect.		Expansión		Lect.		Expansión	
			Extens.	mm	%	Extens.	mm	%	Extens.	mm	%			
5-ago	08:55	1	20,23	0	0	19,93	0	0	24,57	0	0			
6-ago	09:40	2	22,63	2,40	2,07	22,60	2,67	2,30	25,28	0,71	0,61			
7-ago	09:00	3	26,04	3,41	5,00	22,79	0,19	2,46	26,15	0,87	1,36			
8-ago	09:00	4	26,4	0,36	5,31	23,18	0,39	2,80	26,53	0,38	1,69			
9-ago	10:00	5	26,48	0,08	5,38	23,50	0,32	3,07	26,82	0,29	1,94			

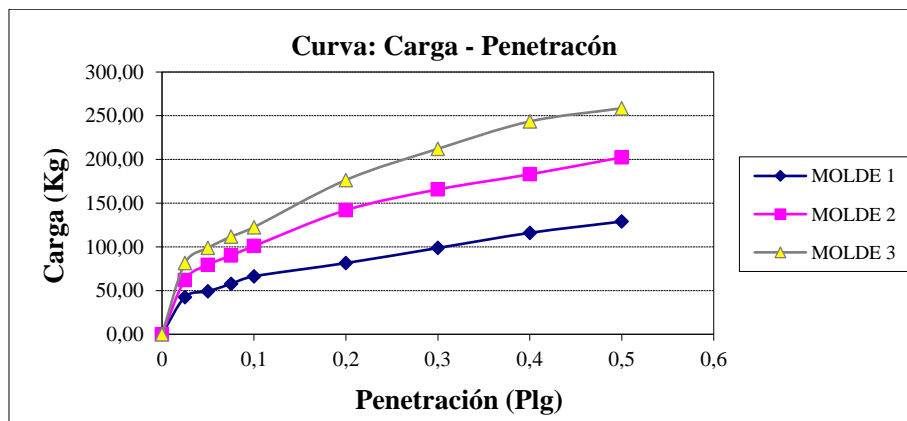
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2.19. C.B.R.**

Penetración		Carga Normal	Molde N°1				Molde N°2				Molde N°3			
			Carga ensayo		C.B.R. Correg.		Carga ensayo		C.B.R. Correg.		Carga ensayo		C.B.R. Correg.	
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	Kg	%	Kg	Kg/cm2	Kg	%	Kg	Kg/cm2	Kg	%
0,00	0,00		0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00		
0,025	0,63		42,58	2,20			62,02	3,20			81,46	4,21		
0,05	1,27		49,06	2,53			79,30	4,10			98,74	5,10		
0,075	1,90		57,70	2,98			90,10	4,66			111,70	5,77		
0,10	2,54	1360,00	66,34	3,43		<b>4,88</b>	100,90	5,21		<b>7,42</b>	122,50	6,33		<b>9,00</b>
0,20	5,08	2040,00	81,46	4,21		<b>3,99</b>	141,94	7,33		<b>6,96</b>	176,50	9,12		<b>8,70</b>
0,30	7,62		98,74	5,10			165,70	8,56			212,14	10,96		
0,40	10,16		116,02	5,99			182,98	9,45			243,46	12,58		
0,50	12,70		128,98	6,66			202,42	10,46			258,58	13,36		

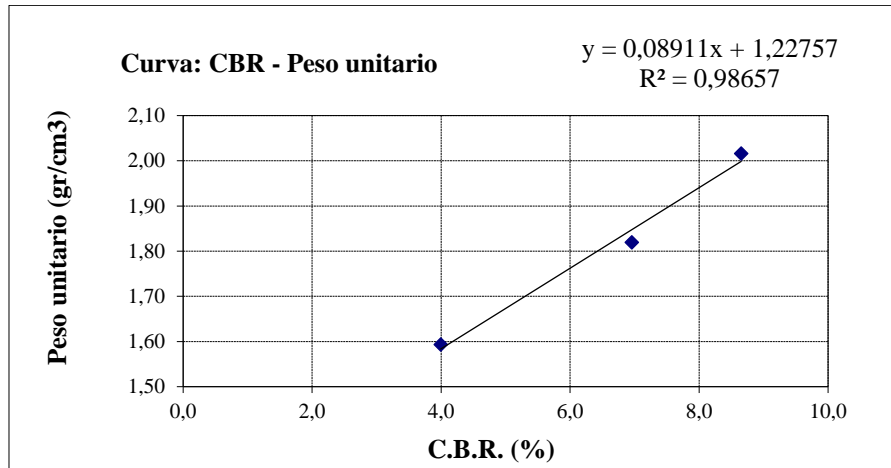
Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 2.4. Carga penetración**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 2.5. C.B.R. - Peso unitario**



**Fuente:** Elaboración propia

CBR 100% D. Max = 10,00 %

CBR 95% D. Max. = 9,00 %

### **Clasificación de suelos**

El sistema de clasificación AASHTO - 93 clasifica a los suelos en ocho grupos principales, A-1 al A-8 en base a una distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos comprendidos en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son de grano fino. La turba, el lodo y otros suelos altamente orgánicos quedan clasificados en el grupo A-8.

Para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para subrasante de un camino, se desarrolló también un número denominado índice de grupo. Entre mayor es el valor del índice de grupo para un suelo, será menor el uso del suelo como subrasante (Braja M. Das, 2013; Bowles, J. 1981).

$$IG = (F - 35) \cdot (0,2 + 0,005 \cdot (LL - 40)) + 0,01 \cdot (F - 15) \cdot (PI - 10)$$

Donde:

IG = Índice de grupo.

F = Porcentaje de partículas que pasa el tamiz N°200.

LL = Límite líquido expresado como número entero.

PI = Índice plástico expresado como número entero.

Los suelos identificados que constituyen el perfil natural de la subrasante son resumidos a continuación:

Progresiva 0+500, 3+000, 4+500 – 5+000 y desde la 7+000 – 7+500 el suelo identificado por sus características físico mecánicas, es el suelo tipo A-6.

Progresiva 1+000 – 2+500, 3+500 – 4+000, 5+500 – 6+500, el suelo identificado por sus características físico mecánicas, es el suelo tipo A-4.



**Tabla 2.20. Resumen de los ensayos de suelos**

N°	Prog.	Granulometría											Límites			Clasificación		Proctor		CBR	
		2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	LL	LP	IP	AASTHO	SUCS	D.Max	H.Opt	100%	95%
1	0+500	100	100	100	98,96	96,72	94,62	91,94	83,94	63,43	43,13	35,77	29,00	15,00	14,00	A-6 (0)	SC	2,12	9,28	11,00	10,00
2	1+000	100	100	100	100	100	100	99,05	97,85	96,42	92,57	65,80	26,00	20,00	6,00	A-4 (1)	CL - ML	1,95	11,54	11,00	10,00
3	1+500	100	100	100	98,67	97,53	96,52	95,71	94,54	92,50	85,76	72,10	23,00	17,00	7,00	A-4 (2)	CL - ML	1,79	11,37	13,00	12,00
4	2+000	100	100	98	96,85	95,02	91,94	87,72	78,81	63,80	50,14	40,26	28,00	18,00	10,00	A-4 (0)	SC	1,99	10,06	10,00	10,00
5	2+500	100	100	100	98,84	98,32	96,35	93,61	88,28	79,60	68,42	59,70	27,00	18,00	8,00	A-4 (2)	CL	1,96	11,23	11,00	10,00
6	3+000	100	100	100	100	97,73	92,01	87,94	76,02	57,91	42,12	37,88	30,00	17,00	13,00	A-6 (1)	SC	2,07	9,61	14,00	13,00
7	3+500	100	100	100	100	99,04	96,61	94,53	84,85	69,38	54,42	48,08	28,00	18,00	10,00	A-4 (1)	SC	1,90	12,20	15,00	13,00
8	4+000	100	100	100	98,99	97,48	96,48	95,21	91,73	79,73	58,55	50,18	29,00	19,00	10,00	A-4 (2)	CL	1,98	11,17	13,00	11,00
9	4+500	100	100	100	100	98,02	91,74	85,63	71,16	54,62	41,38	35,60	30,00	18,00	12,00	A-6 (0)	SC	2,07	10,01	11,00	10,00
10	5+000	100	100	100	100	97,88	94,90	92,40	84,10	63,35	41,28	35,19	28,00	16,00	12,00	A-6 (0)	SC	2,08	10,18	10,00	10,00
11	5+500	100	100	100	100	98,62	97,50	97,24	96,13	95,28	91,19	68,32	27,00	19,00	8,00	A-4 (7)	CL	1,87	11,84	15,00	12,00
12	6+000	100	100	100	100	99,31	99,01	98,81	98,16	96,76	90,34	77,00	23,00	16,00	7,00	A-4 (3)	CL - ML	2,01	10,46	15,00	14,00
13	6+500	100	100	100	97,57	96,28	92,41	89,76	81,51	68,45	53,83	44,28	28,00	19,00	9,00	A-4 (1)	SC	2,00	10,22	11,00	10,00
14	7+000	100	100	100	100	98,26	96,58	95,04	90,73	81,96	71,56	65,71	30,00	19,00	11,00	A-6 (5)	CL	1,99	11,09	11,00	10,00
15	7+500	100	100	100	97,20	95,00	90,97	88,69	81,56	70,21	63,15	61,66	29,00	18,00	12,00	A-6 (4)	CL	1,83	11,73	11,00	10,00

**Fuente:** Elaboración propia

Los ensayos ya mencionados se encuentran en el ANEXO II (estudio de suelos).

### **2.2.3. Estudio hidrológico**

El propósito fundamental del estudio hidrológico en el diseño de proyectos de infraestructura vial, se concentra en la estimación del caudal (Q) de diseño a considerar para cada una de las estructuras de drenaje (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

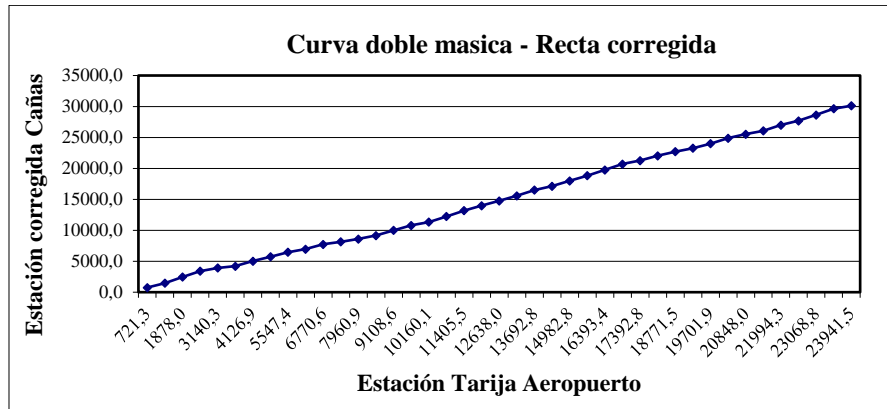
#### **Procedimiento para el estudio hidrológico**

- Los datos hidrológicos utilizados en el estudio provienen de los registros de SENAMI, los principales son: precipitaciones máximas diarias en 24 h, las estaciones pluviométricas más cercanas (Cañas, La Merced, Padcaya) a las comunidades de Río Grande y Yerba Buena.
- Con las precipitaciones ordenadas de acuerdo al año hidrológico, inicialmente se realizó un análisis de consistencia de la información de la estación en estudio versus la estación patrón, para conocer si es de confiabilidad la información con la que se desea trabajar. Seguidamente se encontraron los parámetros geomorfológicos de la cuenca que rodeaban a las bajantes quebradas o arroyos para conocer el tiempo de concentración de cada subcuenca, utilizando métodos empíricos considerados en el manual de la ABC - Vol. II (Hidrología y drenaje).
- Prosiguiendo se inició el cálculo de las intensidades de precipitaciones mediante el método Log Pearson III, el cual se aplica para proyectar lluvias de acuerdo al periodo de retorno que se desee, considerando para alcantarilla de 25 años y cunetas 5 años; con las intensidades ahora conocidas se inició el cálculo de los caudales máximos mediante el método Racional que se muestra en el acápite diseño de alcantarillas y cunetas (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

#### **2.2.3.1. Análisis de consistencia**

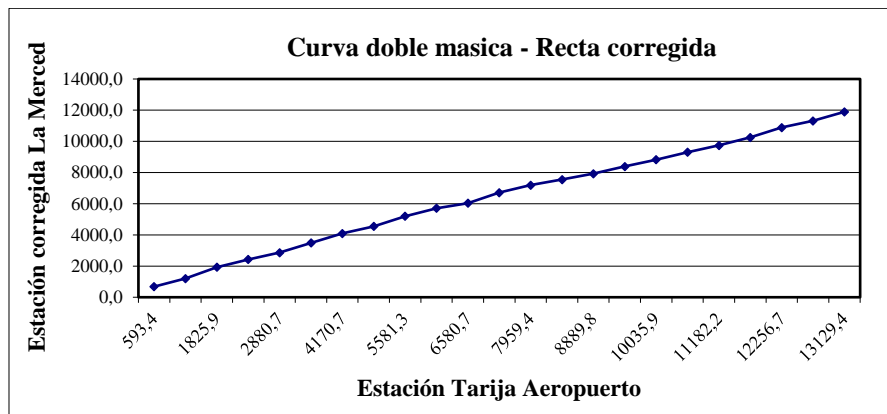
Consiste en realizar un análisis de la información disponible, mediante criterios físicos y métodos estadísticos que permitan identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que hayan podido ocurrir. Se adopta como estación patrón la de Tarija Aeropuerto para realizar el análisis de consistencia que se presenta a continuación:

**Gráfica 2.6. Curva doble masa Cañas – Tarija Aeropuerto**



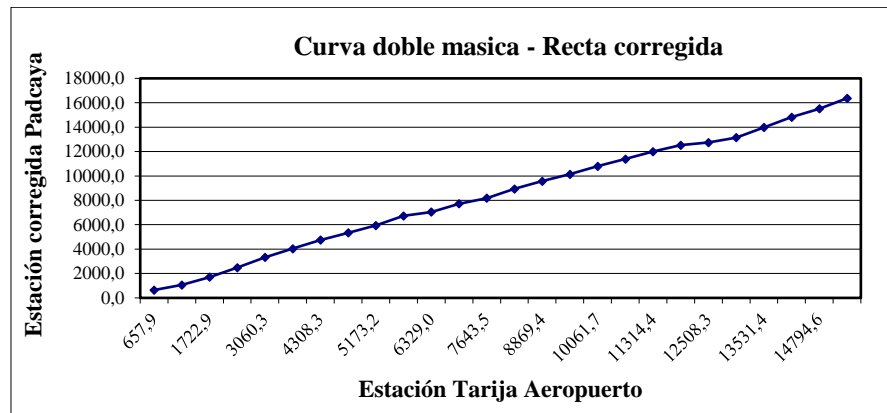
**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfica 2.7. Curva doble masa La Merced – Tarija Aeropuerto**



**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfica 2.8. Curva doble masa Padcaya – Tarija Aeropuerto**



**Fuente:** Elaboración propia

### 2.2.3.2. Parámetros morfométricos de la cuenca de intervención

Se puede verificar que el área de la cuenca del Río Orozas, tiene una extensión aproximada de 130,68 km<sup>2</sup> equivalentes a 13068 ha con un perímetro de 62,70 km.

Con respecto a las cotas se tiene una cota máxima en la cabecera de la cuenca de 3791 m.s.n.m. y una cota mínima en las cuencas bajas de 1932 m.s.n.m.

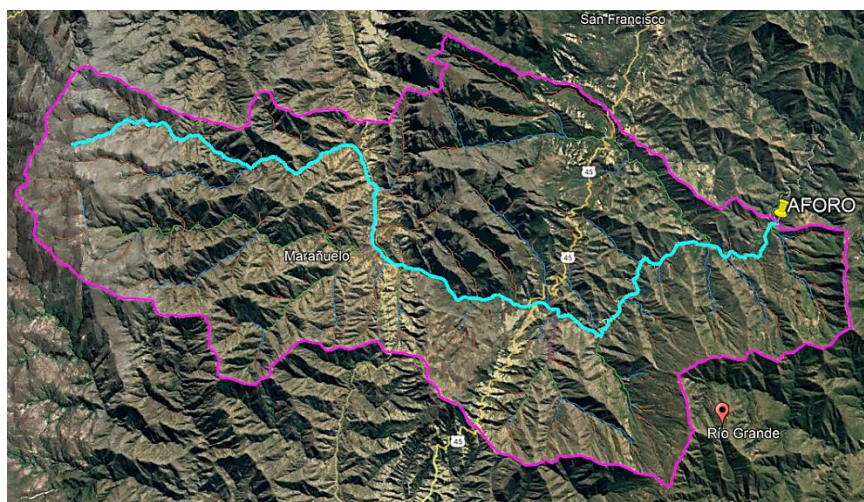
**Tabla 2.21. Parámetros morfométricos de la cuenca**

Parámetros	Unidad	Cuenca
Área de la cuenca	km <sup>2</sup>	130,68
Perímetro de la cuenca	km	62,70
Longitud del rio principal de la cuenca	km	26,82
Altura máxima del curso principal	m	3791,00
Altura mínima del curso principal	m	1932,00
Desnivel	m	1859,00
Pendiente del rio principal de la cuenca (%)	%	3,31
Coefficiente de escurrimiento constante		0,40

**Fuente:** Elaboración propia

Con respecto a las características de la red hídrica, se muestra que la longitud del curso principal es de 26,82 km.

**Figura 2.13. Delimitación de la cuenca**



**Fuente:** Elaboración propia, Google earth

### 2.2.3.3. Tiempo de concentración

Para la estimación del tiempo de concentración se utilizaron varias ecuaciones empíricas, correspondientes a diferentes autores que se indican a continuación:

Giandotti

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{25,3 \cdot \sqrt{J \cdot L}}$$

California

$$t_c = 0,0066 \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{J}} \right)^{0,77}$$

Ventura - Heras

$$t_c = 0,05 \cdot \sqrt{\frac{A}{J}}$$

Chereque

$$t_c = \left( \frac{0,871 \cdot L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Kirpich

$$t_c = 0,000325 \cdot \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

Donde:

A = Área de la cuenca, en (km<sup>2</sup>).

L = Longitud del río principal, en (km).

H = Desnivel máximo del cauce principal, en (m).

J = Pendiente media del río principal, en (m/m).

**Tabla 2.22. Resultados del tiempo de concentración**

Tiempo de concentración (h)							
Nº Cuenca	Curso principal	Kirpich	Chereque	Ventura Heras	California	Giandotti	Promedio
C-1	Qda 1	0,14	0,14	0,07	0,14	0,48	<b>0,19</b>
Puente	Qda 2	2,18	2,18	2,07	2,17	1,79	<b>2,08</b>
C-2	Qda 3	0,05	0,05	0,01	0,05	0,34	<b>0,10</b>
C-3	Qda 4	0,04	0,04	0,01	0,04	0,32	<b>0,09</b>
C-4	Qda 5	0,04	0,04	0,01	0,03	0,42	<b>0,11</b>
C-5	Qda 6	0,07	0,07	0,02	0,07	0,39	<b>0,12</b>
C-6	Qda 7	0,06	0,06	0,02	0,06	0,37	<b>0,11</b>
C-7	Qda 8	0,05	0,05	0,02	0,05	0,39	<b>0,11</b>

**Fuente:** Elaboración propia

#### 2.2.3.4. Lluvias máximas diarias mediante el modelo Log Pearson III

Con la información proporcionada por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología), se tiene los registros continuos de las lluvias en la zona de influencia del diseño, siendo las estaciones de Cañas, La Merced y Padcaya con las que se trabaja para determinar las curvas de intensidad – duración – frecuencia.

La ubicación y características de la estación pluviométrica disponible en la zona de estudio, se presenta en la tabla 2.23.

Cabe indicar que los registros proporcionados por el SENAMHI se encuentran en el ANEXO III (estudio hidrológico).

**Tabla 2.23. Estaciones pluviométricas en la zona de estudio**

Nombre de la estación	Entidad operadora	Ubicación		Altitud msnm	Provincia	Dpto.	Periodo de registro
		Lat. S	Lon. W				
Cañas	SENAMHI	21° 54' 08"	64° 51' 03"	2,08	Arce	Tarija	1978 - 2022
La Merced	SENAMHI	22° 01' 29"	64° 40' 36"	1,51	Arce	Tarija	2000 - 2022
Padcaya	SENAMHI	21° 53'	64° 43'	2,01	Arce	Tarija	1975 - 2002

**Fuente:** Elaboración propia

Las precipitaciones máximas se determinaron con el modelo Log Pearson III, empleando diferentes periodos de duración de la lluvia y diferentes periodos de retorno.

Se calculan los logaritmos (decimales) de cada uno de los valores de la serie de datos máximos ( $w = \log x$ ) y luego los parámetros estadísticos correspondientes para cada estación, después se pondera de acuerdo al número de datos de cada estación en estudio.

Los parámetros estadísticos calculados a partir de los registros de precipitación máxima diaria anual (precipitación máxima anual en 24 h, es el valor máximo durante un año medido durante un día) se muestran a continuación en la tabla 2.24.

**Tabla 2.24. Parámetros estadísticos ponderados de precipitación máxima diaria**

Número de datos	90,00
ul=media de log	3,91
SI <sup>2</sup> Varianza de log	0,16
SI Desviación de log	0,39
Coefficiente de variación de log	0,10
Coefficiente se sesgo log	0,08

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.3.5. Intensidad, duración y frecuencia

Determinación de las intensidades máximas para la construcción de la curva I.D.F. para diferentes periodos de retorno.

**Tabla 2.25. Probabilidades empíricas**

T (Años)	Media log	Desv. tip log	Coef de sesgo	W	Z	k	Kt	Ht
2	3,91	0,39	0,08	1,18	0,00	0,01	-0,01	49,79
<b>5</b>	<b>3,91</b>	<b>0,39</b>	<b>0,08</b>	<b>1,79</b>	<b>0,84</b>	<b>0,01</b>	<b>0,84</b>	<b>69,27</b>
10	3,91	0,39	0,08	2,15	1,28	0,01	1,29	82,57
<b>25</b>	<b>3,91</b>	<b>0,39</b>	<b>0,08</b>	<b>2,54</b>	<b>1,75</b>	<b>0,01</b>	<b>1,78</b>	<b>99,78</b>
50	3,91	0,39	0,08	2,80	2,05	0,01	2,09	112,90

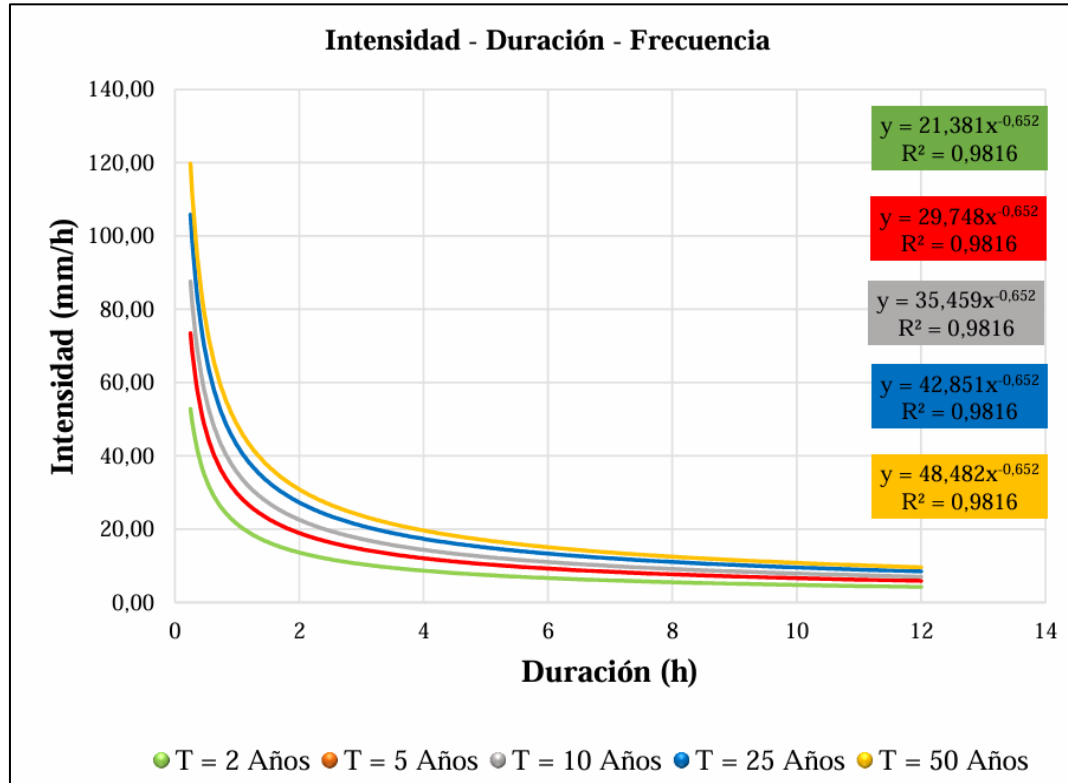
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2.26. Intensidad - Duración - Frecuencia**

a	T	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
32,17	2,00	45,37	32,08	22,69	18,52	16,04	9,21	6,66	5,29	4,43	3,83
<b>62,27</b>	<b>5,00</b>	<b>63,13</b>	<b>44,64</b>	<b>31,56</b>	<b>25,77</b>	<b>22,32</b>	<b>12,82</b>	<b>9,27</b>	<b>7,36</b>	<b>6,16</b>	<b>5,32</b>
88,47	10,00	75,25	53,21	37,62	30,72	26,60	15,28	11,05	8,78	7,34	6,34
<b>129,20</b>	<b>25,00</b>	<b>90,93</b>	<b>64,30</b>	<b>45,47</b>	<b>37,12</b>	<b>32,15</b>	<b>18,47</b>	<b>13,35</b>	<b>10,61</b>	<b>8,87</b>	<b>7,67</b>
165,39	50,00	102,88	72,75	51,44	42,00	36,37	20,89	15,10	12,00	10,04	8,68

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 2.9. Curvas: Intensidad – Duración – Frecuencia**



**Fuente:** Elaboración propia

**2.2.3.6. Cálculo de la intensidad máxima**

Las intensidades de las lluvias son calculadas en base a la tabla 2.26 y las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia “IDF” de la gráfica 2.9.

**Tabla 2.27. Resumen de intensidades para diferentes periodos**

Periodo (Años)	Intensidad (mm/h)
2,00	$21,381 \cdot t^{0,652}$
5,00	$29,748 \cdot t^{0,652}$
10,00	$35,459 \cdot t^{0,652}$
25,00	$42,851 \cdot t^{0,652}$
50,00	$48,482 \cdot t^{0,652}$

**Fuente:** Elaboración propia



Para el diseño de alcantarillas de alivio, la ecuación de intensidad es:

$$I = 42,851 \cdot t^{-0,652}$$

Donde:

$i$  = Intensidad (mm/h), para un periodo de retorno de 25,00 años.

$t_c$  = Tiempo de concentración (h).

**Tabla 2.28. Intensidades para alcantarillas de alivio**

N° Cuenca	Curso principal	Intensidad (mm/h)
C-1	Qda 1	125,36
Puente	Qda 2	26,60
C-2	Qda 3	194,38
C-3	Qda 4	203,64
C-4	Qda 5	183,14
C-5	Qda 6	168,52
C-6	Qda 7	176,65
C-7	Qda 8	175,66

**Fuente:** Elaboración propia

Para el diseño de cunetas, la ecuación de intensidad es:

$$I = 29,748 \cdot t^{-0,652}$$

Donde:

$i$  = Intensidad (mm/h), para un periodo de retorno de 5 años

$t_c = 0,17$  h, tiempo de concentración mínimo de 10 min, por norma de la ABC

(Administradora Boliviana de Carreteras)

El detalle del cálculo del estudio hidrológico se encuentra en el ANEXO III (estudio hidrológico).

#### **2.2.4. Estudio de tráfico**

La demanda del tráfico es un aspecto esencial que el ingeniero necesita conocer con relativa y suficiente precisión, para planificar y diseñar con éxito muchos aspectos de la

vialidad, entre ellos el diseño del pavimento y el de la plataforma del camino. Este flujo vehicular es comúnmente cuantificado como el TPD (tráfico promedio diario) que simplemente representa la cantidad de vehículos al día que circulan en promedio en ambas direcciones durante el año de referencia.

Aunque en la mayoría de los casos no se espera que un camino de desarrollo o vecinal esté congestionado por altos volúmenes de tráfico vehicular, la información que se registrará permitirá evaluar el potencial productivo y comercial del área de influencia del proyecto (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2011).

### **Procedimiento para el estudio de tráfico**

- El objetivo principal es conocer las variaciones diarias en el lapso de 7 días para establecer la posible demanda de tránsito cuando se apertura el nuevo tramo.
- Estos datos se recogieron mediante el aforo en un lugar estratégico dentro del tramo de la comunidad de San Francisco, el ingreso a Río Grande y la comunidad del Carmen.
- Primero se realizó el aforo en los puntos estratégicos, donde debe controlarse la hora el modelo y el tipo de vehículo que pase por nuestro punto de aforo.
- El tráfico promedio hora debe hacerse en ambos sentidos en los puntos de aforo, durante las 24 h en un periodo de 7 días hábiles.
- El cálculo del estudio de tráfico normal se tomó según el tipo de vehículos, desde livianos hasta pesados, los resultados estadísticos se muestran en la tabla 2.30 y el gráfico 2.10.
- Se realiza el tráfico inducido un 5,00% del tráfico normal, y el tráfico generado será un 10,00% del tráfico normal, estos porcentajes se adoptan en función a un periodo de retorno.
- Se debe realizar una estimación de la evolución futura de la demanda vehicular y su composición durante la vida útil del proyecto, en nuestro caso fue para un periodo de 20 años.
- A partir de estos resultados obtenidos, se realiza el TPDA en los 20 años de tráfico proyectado para el camino, y en este contexto permite establecer el número de ejes equivalentes (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2011).

### **Clasificación por tipo de vehículo**

Expresa en porcentaje la participación que le corresponde en el TPDA a las diferentes categorías de vehículos, debiendo diferenciarse por lo menos las siguientes:

- Vehículos livianos: Automóviles, Camionetas hasta 1500 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.

Los tipos de vehículos en Bolivia responden a la clasificación vehicular de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2011).

#### **2.2.4.1. Cálculo de TPD**

El conteo vehicular se realizó en el tramo de la comunidad de San Francisco, el ingreso a Río Grande y El Carmen, debido a que el camino del proyecto “DISEÑO DE INGENIERÍA APERTURA DEL TRAMO VIAL RÍO GRANDE – YERBA BUENA”, presenta características similares a la zona de estudio.





**Figura 2.14. Punto de aforamiento vehicular**



**Fuente:** Elaboración propia, Google earth

A continuación, se muestra la clasificación vehicular que se realizó en un periodo de siete días y sirvió para realizar el conteo de vehicular:

**Tabla 2.29. Clasificación vehicular**

Clase de vehículos			
Vehículos livianos	Buses	Camión pequeño	Camión grande
			

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.30. Resumen total del aforo vehicular en ambas direcciones**

Tráfico por hora	Livianos			Buses				Camiones			Otros	Total
	Automóviles	Camionetas	Jeep vag	Minibús	Microbuses dos ejes (22 pasaj)	B2 Bus mediano dos ejes (hasta 35 pasaj)	B3 Bus grande, dos o más ejes (45 + pasaj)	CM2 Camión mediano, dos ejes	C2 Camión grande, dos ejes	C3 Camión grande, tres ejes		
00-01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01-02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02-03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03-04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04-05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05-06	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
06-07	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	4,00
07-08	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
08-09	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	4,00
09-10	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	5,00
10-11	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	4,00
11-12	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	3,00
12-13	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
13-14	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
14-15	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	5,00
15-16	1,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	6,00
16-17	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	5,00
17-18	3,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	6,00
18-19	2,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	5,00
19-20	1,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	4,00
<b>Total</b>	<b>23,00</b>	<b>12,00</b>	<b>4,00</b>	<b>4,00</b>	<b>2,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>4,00</b>	<b>6,67</b>	<b>5,00</b>	<b>0,00</b>	<b>60,00</b>
<b>%</b>	<b>38,33</b>	<b>20,00</b>	<b>6,67</b>	<b>6,67</b>	<b>3,33</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>6,67</b>	<b>10,00</b>	<b>8,33</b>	<b>0,00</b>	<b>100,00</b>
<b>Vehículos livianos</b>												
<b>Vehículos pesados</b>												

**Fuente:** Elaboración propia

Según la tabla 2.30, para el conteo realizado en ambas direcciones es:

$$\text{TPD} = 60,00 \text{ Veh/día}$$

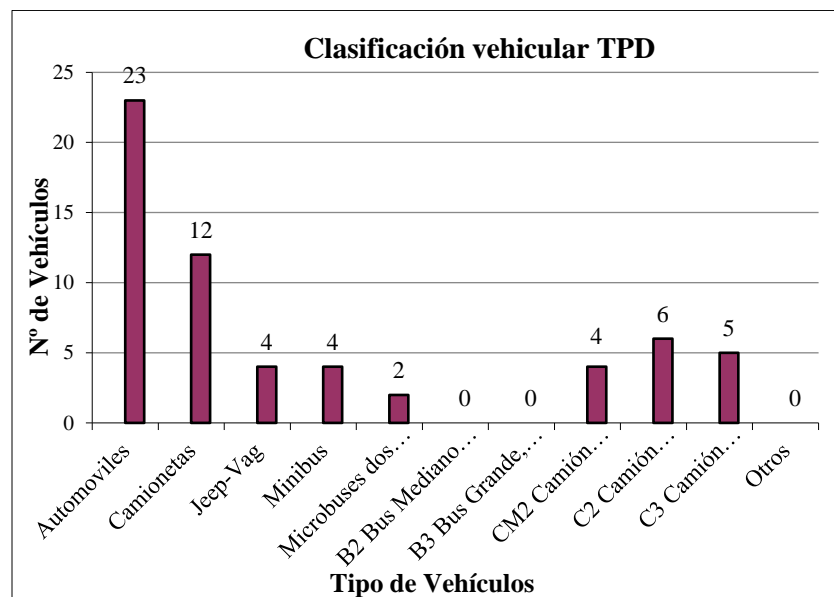
En cuanto a la composición y clasificación del tráfico vehicular, se observa que la gran mayoría de los vehículos que ingresan al sector, son los siguientes:

**Tabla 2.31. Composición y clasificación del tráfico vehicular**

Tipo de Vehículos	TPD	Distrib. %
Automóviles	23,00	38,33%
Camionetas	12,00	20,00%
Jeep-Vag	4,00	6,67%
Minibús	4,00	6,67%
Microbuses dos ejes (22 pasaj)	2,00	3,33%
B2 Bus mediano dos ejes (hasta 35 pasaj)	0,00	0,00%
B3 Bus grande, dos o más ejes (45 + pasaj)	0,00	0,00%
CM2 Camión mediano, dos ejes	4,00	6,67%
C2 Camión grande, dos ejes	6,00	10,00%
C3 Camión grande, tres ejes	5,00	8,33%
Otros	0,00	0,00%
<b>Total TPD</b>	<b>60,00</b>	<b>100,00%</b>

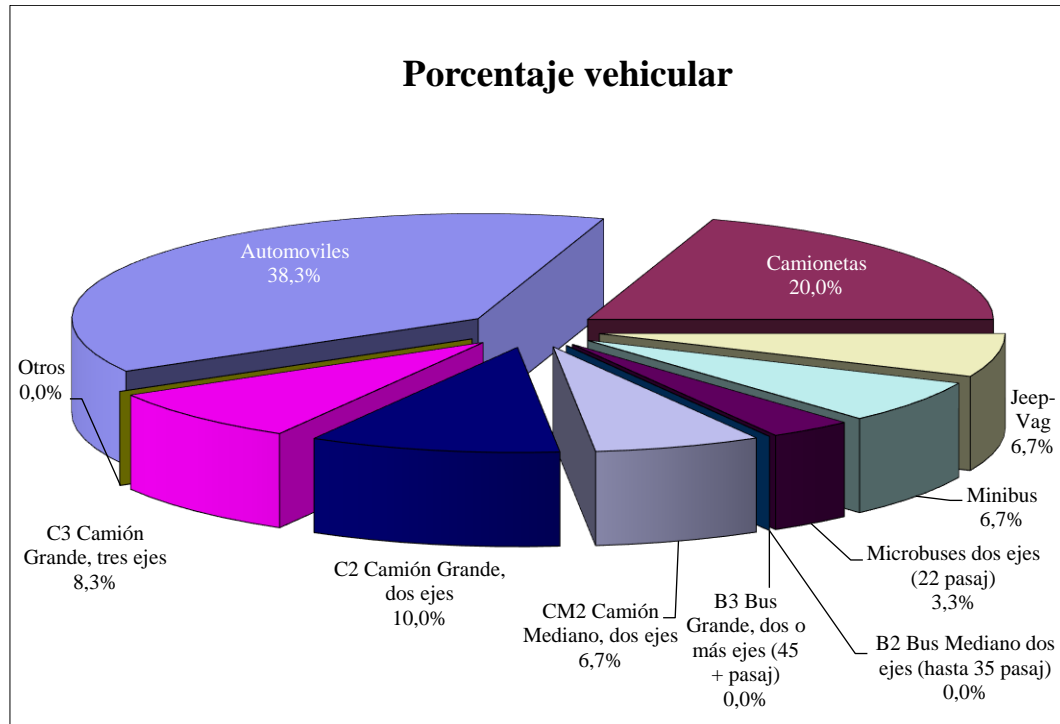
**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfica 2.10. Clasificación vehicular tramo en estudio**



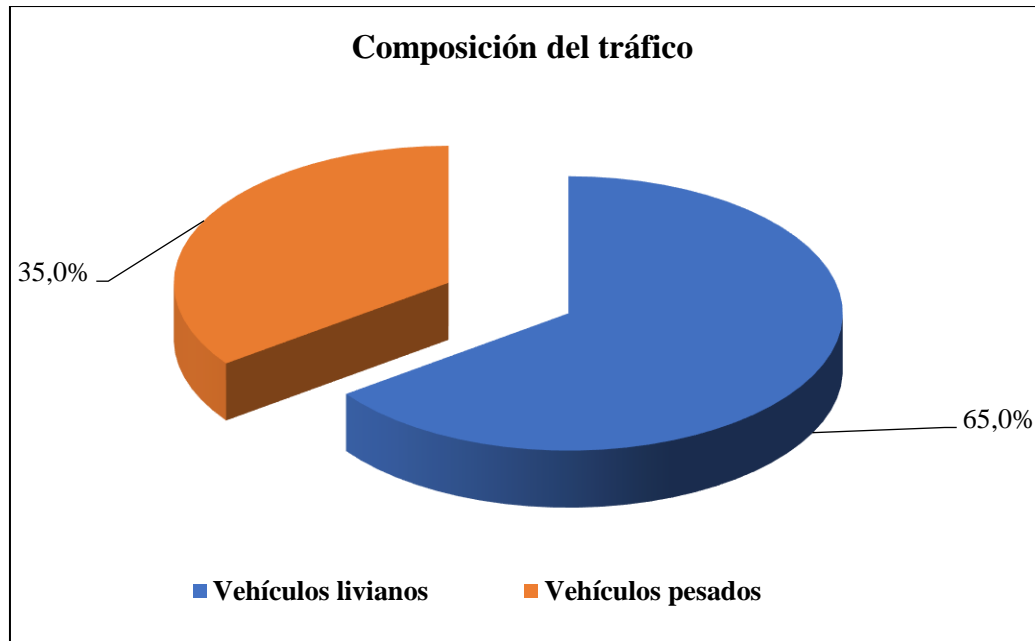
**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfica 2.11. Porcentaje vehicular**



**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfica 2.12. Composición vehicular**



**Fuente:** Elaboración propia

#### **2.2.4.2. Tráfico normal, tráfico generado y tráfico inducido**

##### **a) Tráfico normal**

Es aquel que circula actualmente por la vía y circulará por ella en el futuro haya o no haya una mejora de la vía en estudio. Para su proyección futura de la demanda vehicular y su composición durante la vida útil, se utilizó la tasa de crecimiento en base a la evolución del parque automotor – Padcaya.

##### **b) Tráfico generado**

Corresponde al tráfico que se genera y/o desarrolla especialmente en el área de influencia directa como consecuencia de la implementación del proyecto vial. Es decir, tiene relación directa con las potencialidades actuales y futuras del área de influencia del diseño.

##### **c) Tráfico inducido**

Corresponde al tráfico que se desvía de rutas alternativas (que son competencia a la vía en estudio) hacia la ruta estudiada. Para tomar en cuenta este tráfico es necesario efectuar el análisis de costos de transporte y en función de este parámetro, establecer asignaciones de tráfico entre las rutas alternativas.

#### **2.2.4.3. Proyección del tráfico**

Para proyectar al tráfico futuro se considera un periodo de 20 años, es el producto del TPD \* (FC)<sub>i</sub> que será el tráfico normal, así se tiene:

$$FC = \left(1 + \frac{IC}{100}\right)^N$$

Donde:

FC = Factor de crecimiento del vehículo tipo i.

IC = Índice de crecimiento del vehículo tipo i.

N = Número de años, periodo de diseño.

El tráfico inducido con un 5,00% del tráfico normal, y el tráfico generado será un 10,00% del tráfico normal, estos porcentajes se adoptan en función a lo que se espera ocurra en el camino durante la proyección para 20 años, podrán variar de acuerdo al criterio del



proyectista y de lo que el mismo espera ocurra en la proyección futura de tráfico (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2011).

### Tasa de crecimiento de vehículos

El índice de crecimiento “i” fue obtenido de la información proporcionada por el INE.

**Tabla 2.32. Evolución del parque automotor - Padcaya**

Vehículo	AÑO										
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>Total</b>	<b>128,00</b>	<b>153</b>	<b>169</b>	<b>178</b>	<b>184</b>	<b>195</b>	<b>201</b>	<b>212</b>	<b>214</b>	<b>224</b>	<b>239</b>
Automóvil	128,00	153,00	169,00	178,00	184,00	195,00	201,00	212,00	214,00	224,00	239,00
Camión	20,00	22,00	23,00	26,00	27,00	29,00	30,00	31,00	32,00	31,00	31,00
Camioneta	32,00	35,00	41,00	42,00	42,00	43,00	41,00	42,00	40,00	39,00	39,00
Furgón	29,00	35,00	41,00	46,00	47,00	48,00	49,00	49,00	42,00	41,00	40,00
Jeep	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Microbús	2,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	4,00	6,00	8,00	5,00	5,00
Minibús	7,00	8,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	8,00	5,00	4,00	4,00
Moto	12,00	15,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	16,00	14,00	14,00	15,00
Ómnibus	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	6,00	8,00	8,00	9,00	9,00	9,00
Vagoneta	4,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	7,00	7,00	9,00

**Fuente:** R.U.A.T. (Registro Único para la Administración Tributaria Municipal)

Índice de crecimiento método geométrico del parque automotor del municipio de Padcaya.

$$i = \left( \frac{f}{s} \right)^{1/n} - 1$$

Donde:

i = Índice de crecimiento.

f = Cantidad final.

s = Cantidad inicial.

n = Número de años.

$$i = 6,55 \%$$

La tabla 2.33 - 2.34 - 2.35, muestra la proyección de tráfico normal, inducido y generado.

**Tabla 2.33. Proyección de tráfico normal para 20 años**

Año	Livianos			Buses				Camiones			Otros	Total
	Automóviles	Camionetas	Jeep Vag	Minibús	Microbuses dos ejes (22 pasaj)	B2 Bus Mediano dos ejes (hasta 35 pasaj)	B3 Bus Grande, dos o más ejes (45 + pasaj)	CM2 Camión mediano, dos ejes	C2 Camión grande, dos ejes	C3 Camión grande, tres ejes		
2023	23,00	12,00	4,00	4,00	2,00	0,00	0,00	4,00	6,00	5,00	0,00	60,00
2024	25,00	13,00	4,00	5,00	2,00	0,00	0,00	4,00	6,00	5,00	0,00	64,00
2025	26,00	14,00	5,00	5,00	2,00	0,00	0,00	5,00	7,00	6,00	0,00	68,00
2026	28,00	15,00	5,00	5,00	2,00	0,00	0,00	5,00	7,00	6,00	0,00	73,00
2027	30,00	15,00	5,00	5,00	3,00	0,00	0,00	5,00	8,00	6,00	0,00	77,00
2028	32,00	16,00	5,00	6,00	3,00	0,00	0,00	5,00	8,00	7,00	0,00	82,00
2029	34,00	18,00	6,00	6,00	3,00	0,00	0,00	6,00	9,00	7,00	0,00	88,00
2030	36,00	19,00	6,00	7,00	3,00	0,00	0,00	6,00	9,00	8,00	0,00	94,00
2031	38,00	20,00	7,00	7,00	3,00	0,00	0,00	7,00	10,00	8,00	0,00	100,00
2032	41,00	21,00	7,00	8,00	4,00	0,00	0,00	7,00	11,00	9,00	0,00	106,00
2033	43,00	23,00	8,00	8,00	4,00	0,00	0,00	8,00	11,00	9,00	0,00	113,00
2034	46,00	24,00	8,00	9,00	4,00	0,00	0,00	8,00	12,00	10,00	0,00	121,00
2035	49,00	26,00	9,00	9,00	4,00	0,00	0,00	9,00	13,00	11,00	0,00	129,00
2036	52,00	27,00	9,00	10,00	5,00	0,00	0,00	9,00	14,00	11,00	0,00	137,00
2037	56,00	29,00	10,00	10,00	5,00	0,00	0,00	10,00	15,00	12,00	0,00	146,00
2038	60,00	31,00	10,00	11,00	5,00	0,00	0,00	10,00	16,00	13,00	0,00	155,00
2039	63,00	33,00	11,00	12,00	6,00	0,00	0,00	11,00	17,00	14,00	0,00	166,00
2040	68,00	35,00	12,00	13,00	6,00	0,00	0,00	12,00	18,00	15,00	0,00	176,00
2041	72,00	38,00	13,00	13,00	6,00	0,00	0,00	13,00	19,00	16,00	0,00	188,00
2042	77,00	40,00	13,00	14,00	7,00	0,00	0,00	13,00	20,00	17,00	0,00	200,00
2043	82,00	43,00	14,00	14,00	7,00	0,00	0,00	14,00	21,00	18,00	0,00	214,00

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.34. Proyección de tráfico generado para 20 años**

Año	Livianos			Buses					Camiones			Otros	Total	
	Automóviles	Camionetas	Jeep Vag	Minibús	Microbuses dos ejes (22 pasaj)	B2 Bus Mediano dos ejes (hasta 35 pasaj)	B3 Bus Grande, dos o más ejes (45 + pasaj)	CM2 Camión mediano, dos ejes	C2 Camión grande, dos ejes	C3 Camión grande, tres ejes				
2023	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2024	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	6,00
2025	3,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	7,00
2026	3,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	7,00
2027	3,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	8,00
2028	3,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	8,00
2029	3,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	9,00
2030	4,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	9,00
2031	4,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	10,00
2032	4,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	11,00
2033	4,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	11,00
2034	5,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	12,00
2035	5,00	3,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	13,00
2036	5,00	3,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	14,00
2037	6,00	3,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	15,00
2038	6,00	3,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	1,00	0,00	0,00	16,00
2039	6,00	3,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	1,00	0,00	0,00	17,00
2040	7,00	4,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	1,00	0,00	0,00	18,00
2041	7,00	4,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	2,00	0,00	0,00	19,00
2042	8,00	4,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	2,00	0,00	0,00	20,00
2043	8,00	4,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	2,00	0,00	0,00	21,00

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.35. Proyección de tráfico inducido para 20**

Año	Livianos			Buses					Camiones			Otros	Total	
	Automóviles	Camionetas	Jeep Vag	Minibús	Microbuses dos ejes (22 pasaj)	B2 Bus Mediano dos ejes (hasta 35 pasaj)	B3 Bus Grande, dos o más ejes (45 + pasaj)	CM2 Camión mediano, dos ejes	C2 Camión grande, dos ejes	C3 Camión grande, tres ejes				
2023	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2024	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00
2025	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00
2026	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
2027	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
2028	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
2029	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
2030	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
2031	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
2032	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	5,00
2033	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,00
2034	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	6,00
2035	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	6,00
2036	3,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	7,00
2037	3,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	7,00
2038	3,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	8,00
2039	3,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	8,00
2040	3,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	9,00
2041	4,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	9,00
2042	4,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	10,00
2043	4,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	11,00

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.36. Tráfico total**

Año	Livianos			Buses					Camiones			Otros	Total
	Automóviles	Camionetas	Jeep Vag	Minibús	Microbuses dos ejes (22 pasaj)	B2 Bus Mediano dos ejes (hasta 35 pasaj)	B3 Bus Grande, dos o más ejes (45 + pasaj)	CM2 Camión mediano, dos ejes	C2 Camión grande, dos ejes	C3 Camión grande, tres ejes			
2023	23,00	12,00	4,00	4,00	2,00	0,00	0,00	4,00	6,00	5,00	0,00	60,00	
2024	28,00	15,00	5,00	5,00	2,00	0,00	0,00	5,00	7,00	6,00	0,00	74,00	
2025	30,00	16,00	5,00	5,00	3,00	0,00	0,00	5,00	8,00	7,00	0,00	78,00	
2026	32,00	17,00	6,00	6,00	3,00	0,00	0,00	6,00	8,00	7,00	0,00	83,00	
2027	34,00	18,00	6,00	6,00	3,00	0,00	0,00	6,00	9,00	7,00	0,00	89,00	
2028	36,00	19,00	6,00	6,00	3,00	0,00	0,00	6,00	9,00	8,00	0,00	95,00	
2029	39,00	20,00	7,00	7,00	3,00	0,00	0,00	7,00	10,00	8,00	0,00	101,00	
2030	41,00	22,00	7,00	7,00	4,00	0,00	0,00	7,00	11,00	9,00	0,00	108,00	
2031	44,00	23,00	8,00	8,00	4,00	0,00	0,00	8,00	11,00	10,00	0,00	115,00	
2032	47,00	24,00	8,00	8,00	4,00	0,00	0,00	8,00	12,00	10,00	0,00	122,00	
2033	50,00	26,00	9,00	9,00	4,00	0,00	0,00	9,00	13,00	11,00	0,00	130,00	
2034	53,00	28,00	9,00	9,00	5,00	0,00	0,00	9,00	14,00	12,00	0,00	139,00	
2035	57,00	30,00	10,00	10,00	5,00	0,00	0,00	10,00	15,0	12,00	0,00	148,00	
2036	60,00	31,00	10,00	10,00	5,00	0,00	0,00	10,00	16,00	13,00	0,00	157,00	
2037	64,00	34,00	11,00	11,00	6,00	0,00	0,00	11,00	17,00	14,00	0,00	168,00	
2038	69,00	36,00	12,00	12,00	6,00	0,00	0,00	12,00	18,00	15,00	0,00	179,00	
2039	73,00	38,00	13,00	13,00	6,00	0,00	0,00	13,00	19,00	16,00	0,00	190,00	
2040	78,00	41,00	14,00	14,00	7,00	0,00	0,00	14,00	20,00	17,00	0,00	203,00	
2041	83,00	43,00	14,00	14,00	7,00	0,00	0,00	14,00	22,00	18,00	0,00	216,00	
2042	88,00	46,00	15,00	15,00	8,00	0,00	0,00	15,00	23,00	19,00	0,00	230,00	
2043	94,00	49,00	16,00	16,00	8,00	0,00	0,00	16,00	25,00	20,00	0,00	246,00	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.37. Proyección del TPDA – Tránsito total**

N°	Año	Tráfico Río Grande - Yerba Buena			
		Normal	Generado	Derivado	Total
0	2023	60,00	0,00	0,00	60,00
1	2024	64,00	6,00	3,00	74,00
2	2025	68,00	7,00	3,00	78,00
3	2026	73,00	7,00	4,00	83,00
4	2027	77,00	8,00	4,00	89,00
5	2028	82,00	8,00	4,00	95,00
6	2029	88,00	9,00	4,00	101,00
7	2030	94,00	9,00	5,00	108,00
8	2031	100,00	10,00	5,00	115,00
9	2032	106,00	11,00	5,00	122,00
10	2033	113,00	11,00	6,00	130,00
11	2034	121,00	12,00	6,00	139,00
12	2035	129,00	13,00	6,00	148,00
13	2036	137,00	14,00	7,00	157,00
14	2037	146,00	15,00	7,00	168,00
15	2038	155,00	16,00	8,00	179,00
16	2039	166,00	17,00	8,00	190,00
17	2040	176,00	18,00	9,00	203,00
18	2041	188,00	19,00	9,00	216,00
19	2042	200,00	20,00	10,00	230,00
20	2043	214,00	21,00	11,00	<b>246,00</b>

**Fuente:** Elaboración propia

El tráfico promedio diario anual de diseño:

$$\text{TPDA}_{\text{diseño}} = 246,00 \text{ Veh/día}$$

El detalle del cálculo de tráfico y proyección de tráfico se encuentra en el ANEXO IV (estudio de tráfico).

#### 2.2.4.4. Cálculo de los ejes equivalentes (ESALs)

Los ejes equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento (Montejo Fonseca , 2002).

El número de ejes equivalentes se calcula con la siguiente ecuación:

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

Donde:

$W_{18}$  = Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes.

$(TPD)_i$  = Tráfico promedio diario del vehículo tipo i.

$(FC)_i$  = Factor de crecimiento del vehículo tipo i.

$(FCE)_i$  = Factor de carga equivalente del vehículo tipo i.

**Tabla 2.38. Factores de equivalencia vehicular**

Clasificación de vehículos según la "Estadística Vial de la Administradora Boliviana de Carretera		Factor vehicular
Código	Tipo de Vehículo	
1	Automóviles y vagonetas	0,00020492
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	0,00020492
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	0,00020492
MB	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	0,142815
B2	Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	1,63423
B3	Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	0,952612
C2m	Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	0,142815
C2	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	1,018211
C3	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	1,66103
CSR	Camiones semirremolque	2,452299
CR	Camiones remolque	3,065405
12	Otros	

**Fuente:** Gerencia de Planificación y Desarrollo Tecnológico, (ABC)

**Tabla 2.39. Cálculo del número de ESALs**

N°	Año	Livianos			Buses		Camiones		
		Automóviles	Camionetas	Jeep-vag	Minibús	Microbuses dos ejes (22 pasaj)	CM2 Camión mediano, dos ejes	C2 Camión grande, dos ejes	C3 Camión grande, tres ejes
0	2023	23,00	12,00	4,00	4,00	2,00	4,00	6,00	5,00
1	2024	26,00	12,00	4,00	4,00	2,00	4,00	6,00	5,00
2	2025	28,00	13,00	5,00	4,00	2,00	4,00	6,00	5,00
3	2026	32,00	13,00	6,00	4,00	2,00	4,00	7,00	6,00
4	2027	35,00	14,00	6,00	4,00	2,00	5,00	7,00	6,00
5	2028	39,00	14,00	7,00	5,00	2,00	5,00	7,00	6,00
6	2029	43,00	15,00	8,00	5,00	2,00	5,00	8,00	6,00
7	2030	48,00	15,00	8,00	5,00	2,00	5,00	8,00	7,00
8	2031	54,00	16,00	9,00	5,00	2,00	5,00	8,00	7,00
9	2032	60,00	17,00	10,00	5,00	2,00	6,00	9,00	7,00
10	2033	66,00	17,00	12,00	5,00	3,00	6,00	9,00	7,00
11	2034	74,00	18,00	13,00	5,00	3,00	6,00	9,00	8,00
12	2035	82,00	19,00	14,00	6,00	3,00	6,00	10,00	8,00
13	2036	91,00	19,00	16,00	6,00	3,00	7,00	10,00	8,00
14	2037	102,00	20,00	18,00	6,00	3,00	7,00	10,00	9,00
15	2038	113,00	21,00	20,00	6,00	3,00	7,00	11,00	9,00
16	2039	126,00	21,00	22,00	6,00	3,00	7,00	11,00	9,00
17	2040	140,00	22,00	24,00	6,00	3,00	8,00	12,00	10,00
18	2041	155,00	23,00	27,00	6,00	3,00	8,00	12,00	10,00
19	2042	173,00	24,00	30,00	7,00	3,00	8,00	13,00	11,00
20	2043	192,00	25,00	33,00	7,00	3,00	9,00	13,00	11,00
<b>Total</b>		1703,00	371,00	296,00	111,00	53,00	128,00	192,00	160,00
<b>Factor equiv.</b>		0,00020	0,00020	0,00020	0,00020	0,14	0,14	1,02	1,66
<b>ESALs</b>		127,39	27,77	22,16	8,31	2774,48	6665,90	71287,55	96910,79
		<b>177824,34</b>							

**Fuente:** Elaboración propia

**Número de ESALs = 177824,34**

El detalle del cálculo de ejes equivalentes se encuentra en el ANEXO IV (estudio de tráfico).



### **2.3. Diseño geométrico**

De acuerdo con la norma ABC (Administradora Boliviana de Carreteras), una carretera es una vía de transporte destinada fundamentalmente a servir al tránsito de paso, a dar acceso a las propiedades colindantes o bien a dar un servicio que sea combinación de ambas posibilidades.

#### **2.3.1. Análisis de alternativas**

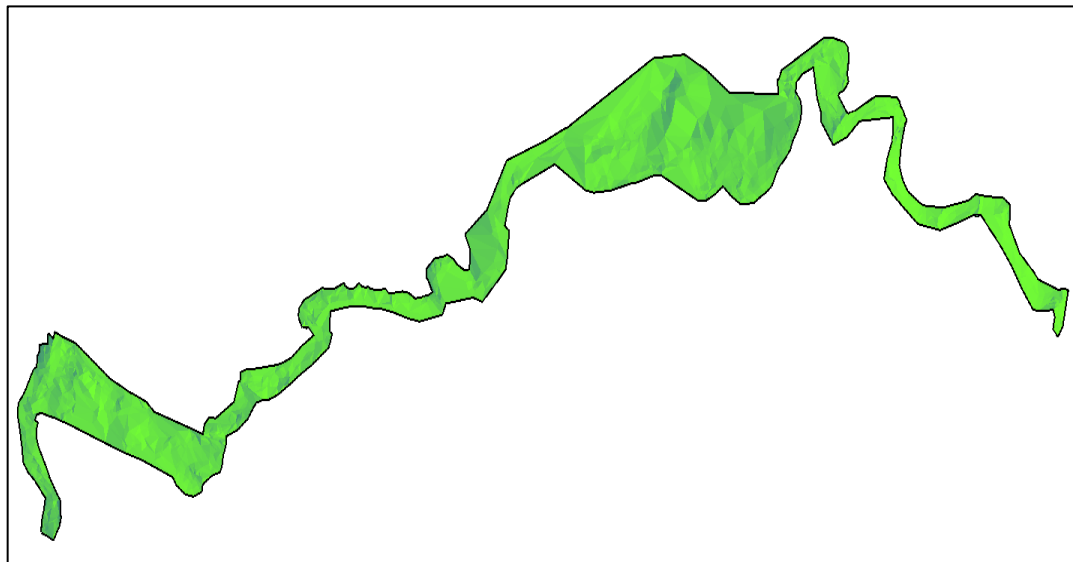
De acuerdo al estudio topográfico y reconocimiento de campo, se hace el análisis de las alternativas de trazo para saber cuál será el trazo definitivo de la carretera.

##### **2.3.1.1. Descripción de posibles alternativas de trazo**

Para solucionar los problemas de transitabilidad en la zona de influencia del proyecto se presentan las siguientes alternativas.

Se propuso dos alternativas de trazo debido a que la topografía muy accidentada y montañosa en el sector hacia Yerba Buena, existen algunas casas y campos de sembradíos para no ir a una confrontación social, por tanto, estas son las alternativas que se propone.

**Figura 2.15. Análisis de la superficie en 3D**

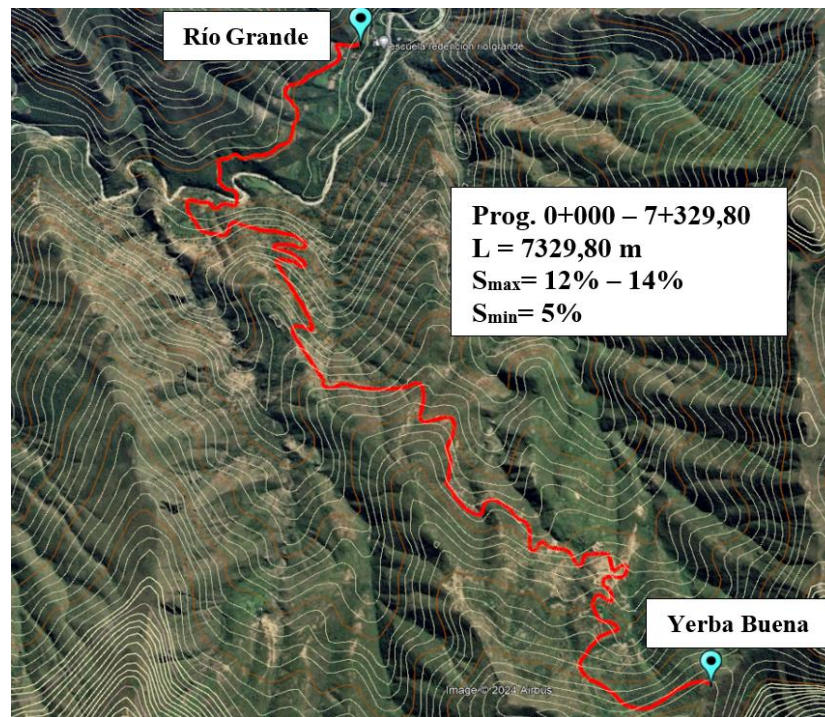


**Fuente:** Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D

### 2.3.1.2. Alternativa de trazo 1

Presenta una longitud aproximadamente de 7329,80 m; el trazo realizado se apega al trazo existente. Esta alternativa presenta un exceso de corte y no existe relación con el relleno, donde se debe realizar banquetas y que desde el punto de vista económico tiene un mayor costo. Las pendientes superan el 12%, llegando a trabajar con pendientes máximas del 14% y una pendiente mínima de 5%.

**Figura 2.16. Alternativa de trazo 1**

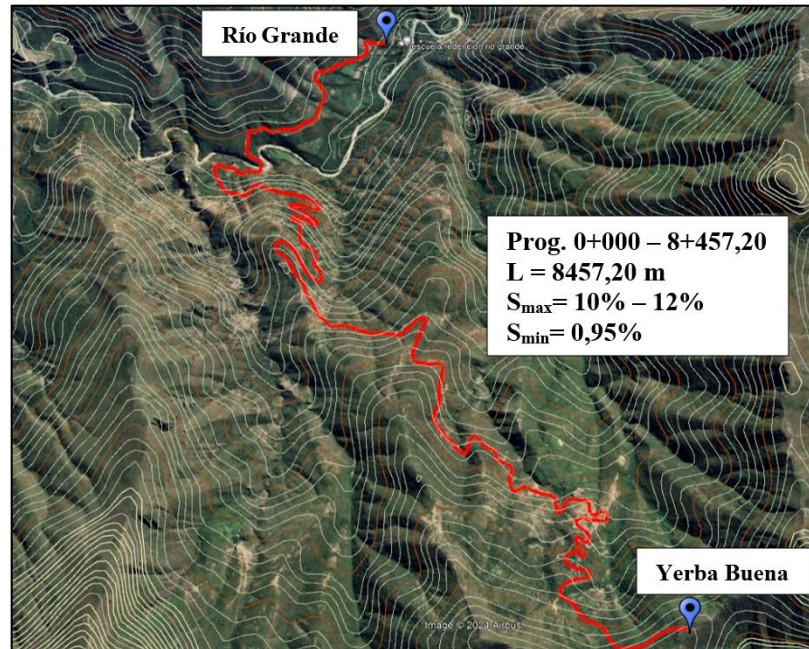


**Fuente:** Elaboración propia, Google earth

### 2.3.1.3. Alternativa de trazo 2

Presenta un trazo longitudinal aproximadamente de 8457,20 m al igual que en el trazo de la alternativa 1, se apega al trazo existente pero se hace una variante importante para salvar el exceso de corte y relleno con una pendiente máxima de 20,00 % en la progresiva 4 + 795 - 4 + 980; para evitar banquetas o derrumbes solo se presenta en este tramo, mientras que el resto de los tramos se mantiene las pendientes mínimas establecidas según el manual de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) entre los 10,00 - 12,00% para zonas montañosas, con una pendiente mínima de 0,95% y cuenta con 8 alcantarillas de alivio.

**Figura 2.17. Alternativa de trazo 2**



**Fuente:** Elaboración propia, Google earth

#### 2.3.1.4. Selección de la alternativa de trazo

La alternativa de trazo más conveniente para esta vía es la número 2, a pesar de tener una mayor distancia  $L = 8457,20$  m, en comparación a la alternativa número 1 que tiene una distancia de  $L = 7329,80$  m, presenta menores problemas técnicos para el trazo de las curvas horizontales, la pendiente se encuentra próxima a la norma establecida entre el 10 – 12% para zonas montañosas, onduladas y accidentadas, considerando que en un tramo debe tomar una pendiente mayor, esto para evitar el exceso de corte que puede llegar a existir y así evitar un gran movimiento de tierras. El número de obras de arte son 8 alcantarillas de alivio, es por estos criterios técnicos y socioeconómicos que la alternativa elegida es la alternativa 2.

**Tabla 2.40. Comparación de alternativas**

Alternativa	Longitud (m)	Pendientes (%)		Corte (m <sup>3</sup> )	Relleno (m <sup>3</sup> )
		Max.	Min.		
1	7329,80	14,00–16,00	5,00	1822722,49	86458,39
2	8457,20	10,00–12,00	0,95	134091,63	132882,51

**Fuente:** Elaboración propia

Para esta opción se toma en cuenta el eje del camino existente en su mayoría, pero se tendrá una variante importante en determinadas progresivas adecuando y respetando las normas vigentes según el manual de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).

### 2.3.2. Sistema de clasificación

La clasificación de carreteras y caminos está orientada específicamente al diseño.

#### 2.3.2.1. Categoría de las vías

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 velocidades de proyecto las 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 (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

**Tabla 2.41. Clasificación funcional para el diseño de carreteras y caminos rurales**

Categoría		Sección transversal		Velocidades de proyecto (km/h)	Código tipo
		N° Carriles	N° Calzadas		
Autopista	(O)	4 ó + UD	2	120 – 100 – 80	A (n) – xx
Autorrutas	(I.A)	4 ó + UD	2	100 - 90 – 80	AR (n) – xx
Primario	(I.B)	4 ó + UD	2 (1)	100 – 90 – 80	P (n) – xx
		2BD	1	100 - 90 – 80	P (2) – xx
Colector	(II)	4 ó + UD	2 (1)	80 – 70 – 60	C (n) – xx
		2BD	1	80 – 70 – 60	C (2) – xx
Local	(III)	2BD	1	70 – 60 – 50 – 40	L (2) – xx
<b>Desarrollo</b>		<b>2BD</b>	<b>1</b>	<b>50 – 40 – 30*</b>	<b>D – xx</b>

**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

De acuerdo a la tabla 2.41 establecido en las características básicas de diseño geométrico para la construcción de caminos de la ABC, el tramo Río Grande – Yerba Buena se establece como un camino categoría desarrollo, de dos carriles bidireccionales (2BD) con una calzada y código tipo (D – xx).

### 2.3.2.2. Velocidad de proyecto

#### Caminos de desarrollo

Están destinados a conectar zonas aisladas y por ellas transitarán vehículos motorizados y vehículos a tracción animal. Su función principal es la de posibilitar tránsito permanente aun cuando las velocidades sean reducidas (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

Las velocidades de proyecto consideradas son:

- Terreno llano a ondulado medio 50 y km/h.
- Terreno ondulado fuerte a montañoso 30 km/h y menores en sectores puntuales.

**Tabla 2.42. Velocidades 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
Autorrutas	(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
<b>Desarrollo</b>		50	40	≤ 30*	<b>D – xx</b>

**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

Según la tabla 2.42, para este tipo de categoría la velocidad de diseño propuesto por el manual de la ABC es de 30\*km/h (\*= Menor que 30 km/h en sectores puntuales conflictivos) para un terreno montañoso en el tramo vial Río Grande - Yerba Buena. En el tramo de estudio de los 8457,20 m, se utilizó una velocidad constante de 25 km/h, esto debido a que es una zona con sectores puntuales, montañoso y accidentados.

### 2.3.3. Diseño geométrico del trazado

Para realizar el diseño geométrico del proyecto, se han considerado los parámetros recomendados por el nuevo manual de diseño geométrico emitido por la ABC. Con el fin de garantizar la seguridad y conformidad de la misma (American Association of State Highway and Transportation officials, 2011; Administradora Boliviana de Carreteras, (ABC), 2007).

El diseño geométrico se realizó a través del programa AUTOCAD CIVIL 3D, de acuerdo al manual de la Administradora Boliviana de Carreteras.

### 2.3.4. Distancia de visibilidad y maniobras asociadas

Para el diseño se distinguen los siguientes casos básicos del tipo de visibilidad. (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

#### 2.3.4.1. Distancia de frenado

En todo punto de una carretera o camino, un conductor que se desplace a la velocidad  $V$ , por el centro de su carril de tránsito, debe disponer al menos de la visibilidad equivalente a la distancia requerida para detenerse ante un obstáculo inmóvil, situado en el centro de dicho carril (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

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

Donde:

$D_f$  = Distancia de frenado (m).

$V = V_p$  o  $V^*$

$t$  = Tiempo de percepción + reacción (s).

$f_1$  = Coeficiente de roce rodante, pavimento húmedo.

$i$  = Pendiente longitudinal (m/m).

+  $i$  Subidas respecto sentido de circulación.

-  $i$  Bajadas respecto sentido de circulación.

**Tabla 2.43. Distancia mínima de frenado "Df" ( $Df=0,555V+0,00394V^2/R$ )**

V	t	f <sub>i</sub>	dt	Df	Df (m)	
(km/h)	s		m	m	dt+Df	Adopt.
≤ 30*	2	0,420	16,7	8,4	25,1	<b>25</b>
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38
50	2	0,410	27,8	24,0	51,8	52
60	2	0,460	33,3	35,5	68,8	70
70	2	0,380	38,9	50,8	89,7	90
80	2	0,360	44,4	70,0	114,4	115
90	2	0,340	50,0	93,3	143,8	145
100	2	0,330	55,5	119,4	174,9	175

**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

La distancia de frenado adoptada, de acuerdo a la tabla 2.43 del manual de la ABC, indica los valores calculados y el valor redondeado adoptado para (Df) de 25 m, para una velocidad de 25km/h.

#### 2.3.4.2. Distancia 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 del proyecto. (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007)

**Tabla 2.44. Distancia mínima de adelantamiento**

Velocidad de proyecto (km/h)	Distancia mínima de adelantamiento (m)
≤ 30*	<b>180</b>
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

La distancia de Adelantamiento adoptada de acuerdo a la tabla 2.44 del manual de la ABC, entrega los valores mínimos a considerar en el diseño ( $D_a$ ) y es de 180 m en función a la velocidad del proyecto 25 km/h.

### 2.3.5. Trazado en planta

Describen los parámetros que se consideraron para el diseño de alineamiento horizontal.

#### 2.3.5.1. Curvas circulares

Las curvas circulares son aquellas que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas. (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

En la figura 2.18, se ilustran los diversos elementos asociados a una curva circular:

Longitud de tangente: 
$$T = R \cdot \tan \frac{\omega}{2}$$

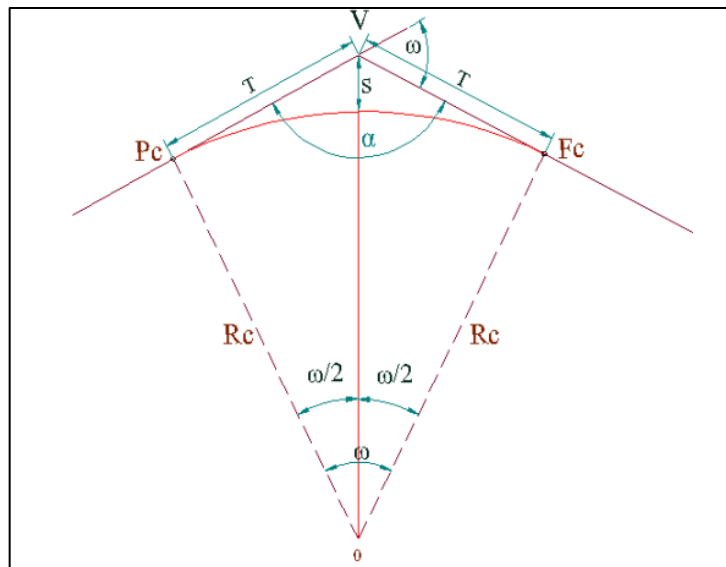
La externa: 
$$S = R \cdot \left( \sec \frac{\omega}{2} - 1 \right)$$

Desarrollo: 
$$D = \frac{\pi \cdot R \cdot \omega}{180}$$

Longitud: 
$$L_c = 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\omega}{2}$$

Cálculo del valor de la ordenada media: 
$$f = R \cdot \left( 1 - \cos \frac{\omega}{2} \right)$$

**Figura 2.18. Elementos de la curva circular**



**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC



Donde:

V = Punto de intersección de las tangentes.

Pc = Principio de Curva.

Fc = Final de Curva.

$\omega$  = Ángulo de deflexión entre dos alineaciones.

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

Lc = Longitud de curva.

T = Tangentes.

**Tabla 2.45. Reporte elementos curvas horizontales circulares**

N° Curva	Radio	Delta	Tang.	Long.	Externa	PC	PT	PI
C1	25	134,18	59,15	58,55	39,22	0+058,41	0+116,96	0+117,56
C2	25	91,27	25,56	39,83	10,75	0+133,24	0+173,07	0+158,80
C3	28	29,76	7,44	14,55	0,97	0+353,49	0+368,03	0+360,93
C4	33	77,20	26,34	44,46	9,23	0+412,36	0+456,82	0+438,704
C5	41	30,39	11,14	21,75	1,49	0+504,04	0+525,79	0+515,18
C6	27	22,86	5,46	10,77	0,55	0+596,88	0+607,66	0+602,34
C7	25	46,62	10,77	20,34	2,22	0+690,05	0+710,40	0+700,83
C8	25	47,33	10,96	20,65	2,30	0+843,76	0+864,42	0+854,72
C9	38	17,87	5,98	11,85	0,47	1+005,05	1+016,91	1+011,03
C10	27	75,12	20,76	35,40	7,06	1+073,03	1+108,43	1+093,79
C11	46	28,41	11,65	22,81	1,45	1+143,05	1+165,86	1+154,69
C12	61	10,45	5,58	11,12	0,25	1+226,91	1+238,04	1+232,49
C13	22	83,42	19,61	32,03	7,47	1+286,62	1+318,65	1+306,23
C14	25	69,31	17,28	30,24	5,39	1+359,86	1+390,10	1+377,14
C15	25	55,23	13,08	24,10	3,21	1+438,79	1+462,89	1+451,87
C16	29	121,39	51,66	61,44	30,25	1+501,99	1+563,43	1+553,66
C17	350	2,02	6,18	12,35	0,05	1+584,00	1+596,35	1+590,17
C18	60	77,38	48,05	81,03	16,87	1+677,11	1+758,14	1+725,16
C19	55	44,63	22,58	42,85	4,45	1+798,66	1+841,50	1+821,23
C20	90	9,62	7,57	15,11	0,32	2+005,46	2+020,57	2+013,03

**Fuente:** Elaboración propia

El reporte general de los elementos de curvas circulares del tramo vial Río Grande – Yerba Buena, se las desglosa en ANEXO V (curvas horizontales).

### 2.3.5.2. Radios mínimos

Los radios mínimos para cada velocidad de proyecto, calculados bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento. (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

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

Donde:

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

$V_p$  = Velocidad de proyecto (km/h).

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

$f$  = Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a  $V_p$ .

**Ecuación para el cálculo del coeficiente de fricción:**

$$f = 0,265 - \frac{V_p}{602,4}$$

Donde:

$f$  = Coeficiente de fricción.

$V_p$  = Velocidad de proyecto (km/m).

**Tabla 2.46. Radios mínimos absolutos en curvas horizontales**

<b>Caminos - Colectores - Locales - Desarrollo</b>			
<b>Vp (km/h)</b>	<b>e<sub>max</sub> (%)</b>	<b>f</b>	<b>R<sub>min</sub> (m)</b>
25	7	0,223	17
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
80	7	0,132	250

**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

De acuerdo a la tabla 2.46, la velocidad de diseño para un camino en desarrollo, tiene un radio mínimo calculado de 17,00 m y un coeficiente de fricción de 0,223 según sus ecuaciones propuestas por el manual ABC.

### 2.3.5.3. Peralte máximo

Es la pendiente máxima transversal que debe inclinarse la sección transversal de una carretera, la sección del peralte está en función de la velocidad directriz, categoría de la vía, condiciones climáticas de la zona y de la topografía local (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

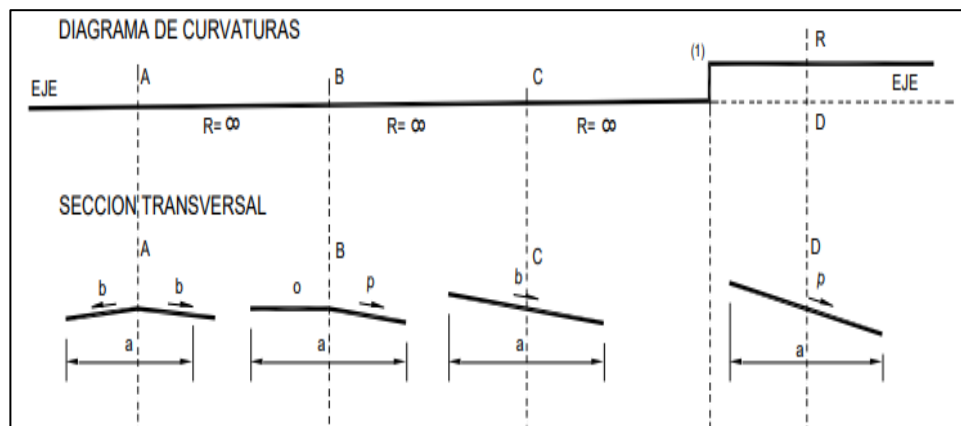
**Tabla 2.47. Valores máximos para peralte y fricción transversal**

Velocidades	$e_{max}$	f
Caminos $V_p$ 30 a 80 km/h	7 %	$0,265 - V_p/602,4$
Carreteras $V_p$ 80 a 120 km/h	8 %	$0,193 - V_p/1134$

**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

El valor del peralte y fricción transversal según la tabla 2.47, propuesta por el manual de la ABC, tiene como peralte máximo un 7% y una fricción transversal de 0,223 según la tabla 2.46.

**Figura 2.19. Desarrollo del peralte en curvas circulares sin curvas de enlace**



**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

### 2.3.5.4. Sobreechanco en curvas circulares

El cálculo detallado del sobreechanco en curvas circulares de carreteras y caminos se desarrolló mediante el análisis geométrico de las trayectorias que describen los diferentes vehículos, considerando el ancho de la calzada y las huelgas definidas (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007; American Association of State Highway and Transportation officials, 2011).

**Tabla 2.48. Ensanche de la calzada en caminos con  $V_p \leq 60\text{km/h}$**

Tipo de vehículo (Lt en m)	Parámetro de cálculo (m)	S (m)	$e_{int}$	$e_{ext}$	Radios límites (m)
Camión Unid. Simple Lt = 11,00* Bus corriente Lt = 12,00	Lo = 9,50	$(L_o^2/R) - 0,85$	0,55 S	0,45 S	$25 \leq R \leq 75$
Bus de turismo Lt = 13,20* Bus de turismo Lt = 14,00*	Lo = 10,50 Lo = 10,60	$(L_o^2/R) - 0,85$	0,55 S	0,45 S	$30 \leq R \leq 95$
Semitrailer Lt = 15,400	L1 = 5,60 L2 = 10,00	$((L_1^2+L_2^2)/R) - 0,80$	0,55 S	0,45 S	$35 \leq R \leq 115$
Semitrailer Lt = 18,60*	L1 = 5,60 L2 = 12,20	$((L_1^2+L_2^2)/R) - 0,80$	0,55 S	0,45 S	$50 \leq R \leq 155$
Semitrailer Lt = 22,40*	No corresponde a caminos con calzada 6,0 m				

**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

El ensanche total “E (m)” se limitará a un máximo de 3,20m y un mínimo de 0,35m en calzadas de 6m como es el caso. La columna “Radios límites” indica que radios menores o mayores que los allí indicados, requieren ensanches mayores o menores que los límites antes definidos.

Según la tabla 2.48, se calcula el sobreebanco a través de las siguientes fórmulas:

$$S = \left( \frac{L_0^2}{R} \right) - 0,85$$

$$e_{\text{int}} = 0,55 \cdot S$$

$$e_{\text{ext}} = 0,45 \cdot S$$

$$25 \leq R \leq 75$$

Donde:

S = Sobreebanco (m).

$L_0$  = Distancia entre parachoques delantero y último eje trasero (m).

R = Radio de la curva (m).

$e_{\text{int}}$  = Sobreebanco interior en la curva (m).

$e_{\text{ext}}$  = Sobreebanco exterior en la curva (m).

El tipo de vehículo según la tabla 2.48, del manual de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) para el cálculo de sobreebanco seleccionado, es un camión unidad simple o bien un bus corriente, para el tramo Río Grande – Yerba Buena.

**Tabla 2.49. Reporte de sobreebanco curvas circulares**

N° Curva	Radio (m)	S (m)	$e_{\text{int}}$ 55%	$e_{\text{ext}}$ 45%	$S_{\text{int}}$ (m)	$S_{\text{ext}}$ (m)
<b>C1</b>	25	2,76	1,52	1,24	<b>4,02</b>	<b>3,74</b>
<b>C2</b>	25	2,76	1,52	1,24	<b>4,02</b>	<b>3,74</b>
<b>C3</b>	28	2,37	1,31	1,07	<b>3,81</b>	<b>3,57</b>
<b>C4</b>	33	1,88	1,04	0,85	<b>3,54</b>	<b>3,35</b>
<b>C5</b>	41	1,35	0,74	0,61	<b>3,24</b>	<b>3,11</b>
<b>C6</b>	27	2,49	1,37	1,12	<b>3,87</b>	<b>3,62</b>
<b>C7</b>	25	2,76	1,52	1,24	<b>4,02</b>	<b>3,74</b>
<b>C8</b>	25	2,76	1,52	1,24	<b>4,02</b>	<b>3,74</b>
<b>C9</b>	38	1,53	0,84	0,69	<b>3,34</b>	<b>3,19</b>
<b>C10</b>	27	2,49	1,37	1,12	<b>3,87</b>	<b>3,62</b>
<b>C11</b>	46	1,11	0,61	0,50	<b>3,11</b>	<b>3,00</b>
<b>C12</b>	61	0,63	0,35	0,28	<b>2,85</b>	<b>2,78</b>
<b>C13</b>	22	3,25	1,79	1,46	<b>4,29</b>	<b>3,96</b>
<b>C14</b>	25	2,76	1,52	1,24	<b>4,02</b>	<b>3,74</b>

<b>C15</b>	25	2,76	1,52	1,24	<b>4,02</b>	<b>3,74</b>
<b>C16</b>	29	2,26	1,24	1,02	<b>3,74</b>	<b>3,52</b>
<b>C17</b>	350	-0,59	-0,33	-0,27	<b>2,17</b>	<b>2,23</b>
<b>C18</b>	60	0,65	0,36	0,29	<b>2,86</b>	<b>2,79</b>
<b>C19</b>	55	0,79	0,44	0,36	<b>2,94</b>	<b>2,86</b>

**Fuente:** Elaboración propia

El reporte general de los sobreechamientos de curvas circulares del tramo vial Río Grande – Yerba Buena, se las desglosa en ANEXO VI (sobreechamientos).

### 2.3.5.5. Longitud máxima en rectas

Se procurará evitar longitudes en rectas superiores. (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

$$L_r (m) = 20 \cdot V_p$$

Donde:

$L_r$  = Largo en m de la alineación recta

$V_p$  = Velocidad de proyecto de la carretera (Km/h)

La longitud máxima de la recta para el tramo vial Río Grande – Yerba Buena, se calculó en base a la ecuación propuesta por el manual de la ABC, para una velocidad de 25 km/h dando un valor de 500 m.

### 2.3.5.6. Longitud mínima en rectas

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. (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

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

**Tabla 2.50. Longitud de  $R_{min}$  entre curvas de diferente sentido**

<b><math>V_p</math> (Km/h)</b>	<b>25</b>	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b><math>L_r</math> (m)</b>	<b>35</b>	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168

**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

La longitud mínima de curvas según la tabla 2.50, del manual de la ABC, para el tramo vial Río Grande – Yerba Buena, se calculó con una velocidad de proyecto de 25 km/h dando un valor de 35 m.

### 2.3.6. Trazado de alineamiento vertical

A continuación, se describen los parámetros considerados para el diseño de curvas verticales.

#### 2.3.6.1. Pendientes máximas

Se procuró utilizar las menores pendientes compatibles con la topografía en que se emplaza el trazado. Las pendientes máximas admisibles se establecen según la categoría de la carretera o camino (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

**Tabla 2.51. Pendiente máxima según categoría de carretera o camino**

Categoría	Velocidad de proyecto (km/h)									
	≤ 30*	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>Desarrollo</b>	<b>10 - 12</b>	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

(1) 110 km/h no está considerada dentro del rango de Vp asociadas a las categorías

**Fuente:** Manual de Carreteras Vol. 1 diseño geométrico, ABC

La pendiente longitudinal máxima según la tabla 2.51, del manual de la ABC, para el tramo vial Río Grande – Yerba Buena se adoptó entre el 10% – 12% por ser un camino de desarrollo en una zona montañosa y accidentada, con una velocidad de 25 km/h. Cabe mencionar que en la progresiva 4 + 795 – 4 + 980 se utilizó una pendiente de 20%, esto para evitar un exceso de corte.

#### 2.3.6.2. Pendientes mínimas

Es deseable proveer una pendiente longitudinal mínima del orden de 0,50% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales.

Si el bombeo es de 2,50% - 3,50%, excepcionalmente se podrán aceptar pendientes longitudinales iguales a cero. (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

La pendiente mínima excepcional en el tramo vial Río Grande – Yerba Buena es de 0,95% considerando que el bombeo es de 2,50% para un tratamiento superficial.

### **2.3.6.3. 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,  $\theta$  se calcula como el valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida, expresadas en m/m.

El desarrollo de la curva de enlace se identifica con:

$$L_v = 2 \cdot T$$

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

La longitud de la curva vertical está dada según medidas reducidas a la horizontal y es:

$$2 \cdot T = K \cdot \theta = K \cdot |i_1 - i_2|$$

### **2.3.6.4. Parámetros mínimos por visibilidad de frenado**

Diseñados de acuerdo a las curvas verticales, de acuerdo que aseguren la visibilidad de frenado todo el punto de camino (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

#### **a) Curvas verticales 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.

$$K_v = \frac{D_f^2}{4,48}$$

Donde:

$K_v$  = Parámetro curva vertical convexa (m).

$D_f$  = Distancia de frenado  $f(V^*)$  (m).



### b) Curvas verticales cóncavas

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

$$K_c = \frac{Df^2}{(1,2 + 0,035Df)}$$

Donde:

$K_c$  = Parámetro curva vertical cóncava (m).

$Df$  = Distancia de frenado  $f(V_p)$  (m). (Se considera noche los usuarios no superan  $V_p$ ).

**Tabla 2.52. Parámetros mínimos por criterio de visibilidad de frenado**

Velocidad de proyecto	Curvas convexas			Curvas cóncavas $K_c$
	$K_v$			
$V_p$ (km/h)	$V^* = V_p$ km/h	$V^* = V_p + 5$ km/h	$V^* = V_p + 10$ km/h	$V_p$ Km/h
$\leq 30^*$	300	300	300	400
40	400	500	600	500
50	700	950	1100	1000
<b>Caminos colectores</b>				

**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

Según la tabla 2.52, del manual de la ABC, para el tramo vial Río Grande – Yerba Buena se adoptó las curvas cóncavas y convexas en función a la velocidad del proyecto de 25 km/h, considerando la constante de curvas convexas  $K_v = 300$  y curvas cóncavas  $K_c = 400$ .

#### 2.3.6.5. Parámetros mínimos por visibilidad de adelantamiento

El parámetro mínimo para curvas convexas por condiciones de adelantamiento está dado por: (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007)

$$K_a = \frac{D_a^2}{9,20}$$

Donde:

$K_a$  = Parámetro mínimo para visibilidad adelantamiento (m).

$D_a$  = Distancia de frenado  $f(V^*)$  (m).

**Tabla 2.53. Parámetro mínimo visibilidad de adelantamiento**

V (km/h)	≤ 30*	40	50	60	70	80	90	100	110
Ka (m)	3500	630	980	14900	21000	27200	33900	39100	45900

**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

Según la tabla 2.53, del manual de la ABC, para el tramo vial Río Grande – Yerba Buena se adoptó la visibilidad mínima de adelantamiento en función a la velocidad de proyecto de 25 km/h, con un valor de 3500 m.

### 2.3.6.6. Longitud mínima de curvas verticales

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

$$2 \cdot T(m) \geq |V_p \text{ (km/h)}|$$

Donde:

2T = Desarrollo mínimo de la curva vertical (m).

V<sub>p</sub> = Velocidad de proyecto (km/h).

**Tabla 2.54. Reporte curvas verticales**

Nº Curva	PVI Estación (m)	PVI Elevación (m)	Pendiente (%)	Tipo de curva de perfil	Long. de la curva de perfil (m)	Valor K
1	0+000,00	1963,19	-	-	-	-
2	0+475,00	2004,39	8,67	Crest	30,51	3,00
3	0+680,00	2001,33	-1,49	Sag	14,53	3,21
4	0+900,00	2008,00	3,03	Crest	59,47	3,02
5	1+095,00	1975,55	-16,64	Sag	45,00	3,30
6	1+180,00	1973,00	-2,99	Sag	50,00	3,34
7	2+290,00	2105,80	11,96	Crest	27,66	3,01
8	2+320,00	2106,63	2,78	Sag	27,59	3,00
9	3+175,00	2209,00	11,97	Crest	40,00	3,10
10	3+385,00	2207,00	-0,95	Sag	50,00	3,97
11	3+605,00	2232,63	11,65	Crest	38,78	4,00
12	3+880,00	2238,00	1,95	Sag	40,00	4,05
13	4+235,00	2280,00	11,83	Sag	100,00	750,19
14	4+795,00	2347,00	11,96	Sag	70,00	8,71
15	5+030,00	2394,00	20,00	Crest	50,00	5,67
16	5+370,00	2432,00	11,18	Crest	33,20	3,40
17	5+425,00	2432,76	1,39	Sag	50,00	5,44

18	5+750,00	2467,12	10,57	-	-	-
19	5+815,00	2468,00	1,35	Sag	50,00	4,70
20	6+475,00	2547,12	11,99	-	-	-
21	6+495,00	2547,57	2,26	-	-	-
22	6+890,00	2594,77	11,95	-	-	-
23	7+505,00	2667,31	11,80	Crest	43,35	4,11
24	7+560,00	2667,99	1,23	-	-	-
25	7+995,00	2720,00	11,96	Crest	15,00	3,91
26	8+457,20	2757,54	8,12	-	-	-

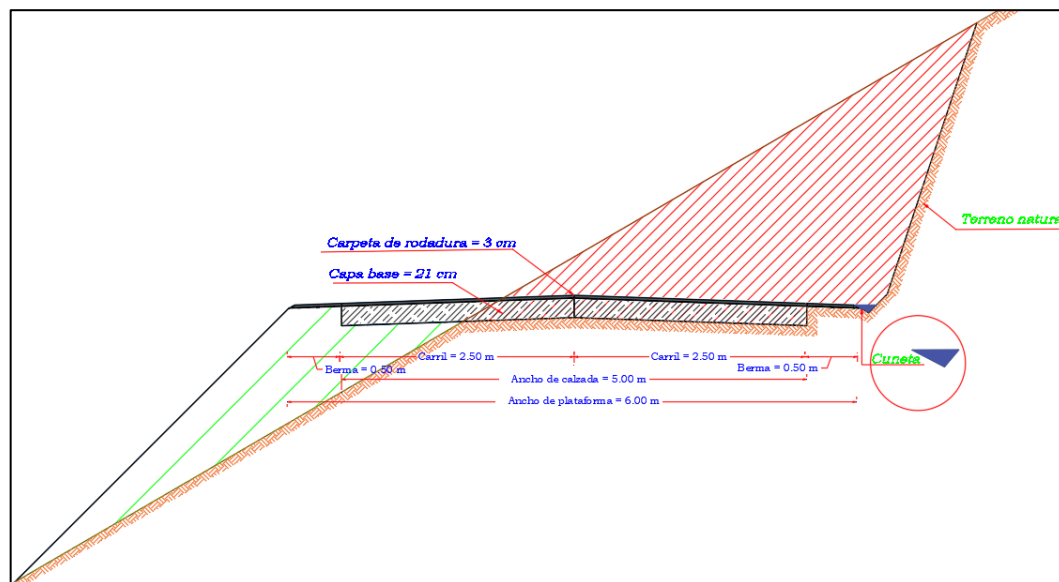
**Fuente:** Elaboración propia

El reporte general de curvas verticales del tramo vial Río Grande – Yerba Buena se encuentra en el ANEXO VII (curvas verticales).

### 2.3.7. Sección transversal

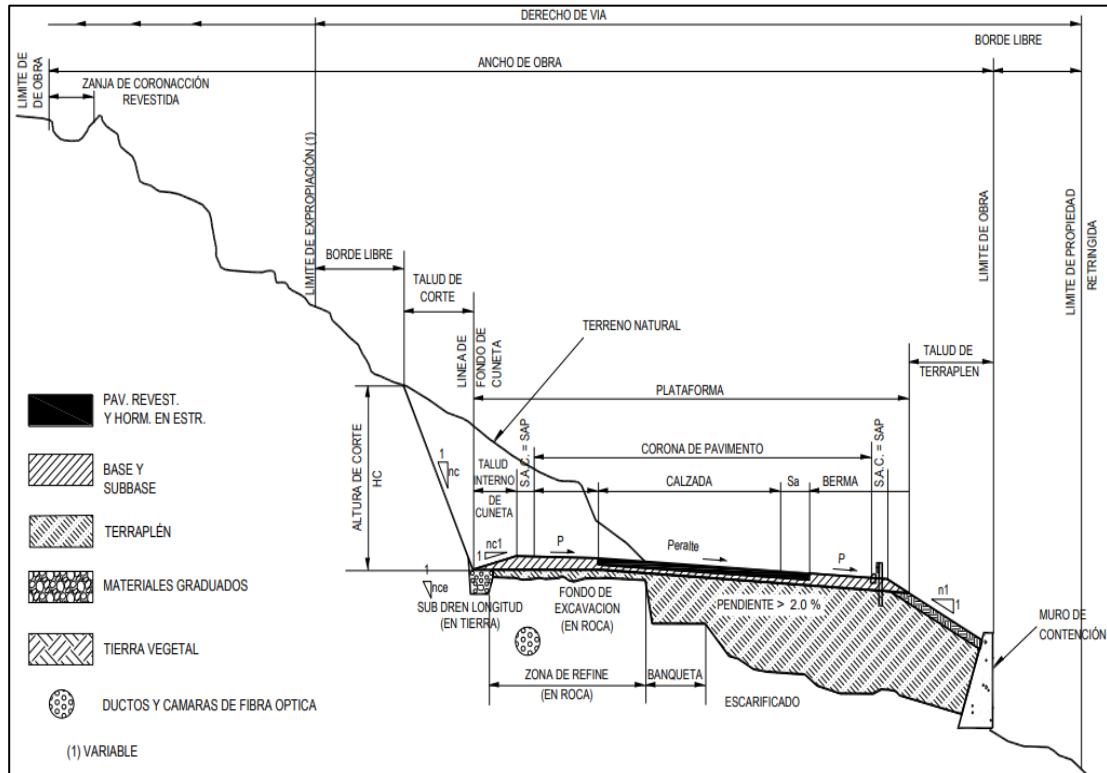
Sección de una carretera al corte transversal de la misma que nos permite visualizar con claridad las dimensiones de sus elementos, los cuales son: calzada, berma, cuneta, talud de corte y talud de relleno. Estos elementos influyen sobre las características operativas, estéticas y de seguridad del camino. En la figura 2.21, se presenta un perfil transversal mixto (corte y terraplén) correspondiente al caso de una vía con calzadas separadas en recta (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007; Manual de carreteras Peru, 2018).

**Figura 2.20. Sección tipo**



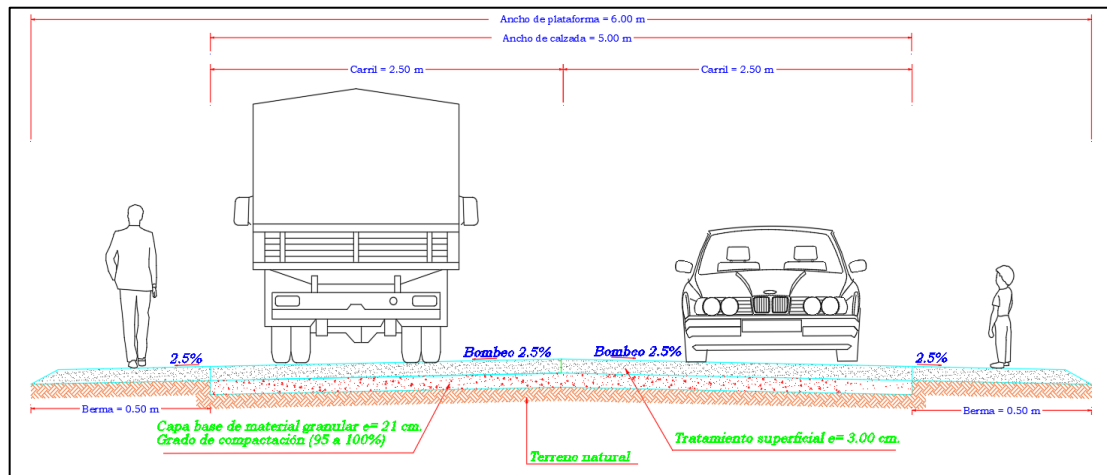
**Fuente:** Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D

**Figura 2.21. Sección transversal y sus elementos**



**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

**Figura 2.22. Diseño de sección transversal**



**Fuente:** Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D

**Tabla 2.55. Anchos de plataforma en terraplén y de sus elementos a nivel de rasante**

Número de calzadas y categoría	Velocidad de proyecto (Km/h)	Ancho de pistas "a" (m) (1)	Ancho de berma		Ancho SAP (3)		Ancho cantero central – M (m)			Ancho total de plataforma A nivel de la rasante (5)															
			"bi" Interior (m)	"be" Exterior (m)	"Si" Interior (m)	"Sj" Exterior (m)	Inicial 4 pistas Ampl. a 6	Final 6 pistas	Final=inicial 4 pistas	6 pistas y 4 ampl.	4 pistas	2 pistas													
Calzada bidireccional	100 - 90	3,50	-	2,50	-	1,00	-	-	-	-	-	-	14,00												
														80	3,50	-	2,000	-	0,50 - 0,80	-	-	-	-	-	12,00
	70	3,50	-	1,00 - 1,50(2)	-	0,50 - 0,80	-	-	-	-	10,00 – 11,00														
												60	3,50	-	0,50 - 1,0(2)	-	0,50 - 0,80	-	-	-	-	8,00 – 10,00			
																							50	3,50	-
	40	3,50	-	0,00 - 0,50(2)	-	0,50	-	-	-	-	7,00 – 8,00														
												30	3,50	-	0,00 - 0,50(2)	-	0,50	-	-	-	-	5,00 – 6,00			
																							Desarrollo	Local	-
	Colector	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-														
												Primario	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

**Fuente:** Elaboración propia

El número de calzadas y categoría para una calzada bidireccional según la tabla 2.55, del manual de la ABC, el tramo vial Río Grande – Yerba Buena está en función a su velocidad de 25 km/h, la sección transversal adoptada para un camino de Desarrollo es de 5 m y un sobreancho de plataforma exterior de 0,50 m.

### **2.3.7.1. Ancho de plataforma**

El ancho de la calzada bidireccional está destinada a la circulación de los vehículos y está constituida por dos carriles. El ancho y el estado de la superficie de la calzada tienen gran influencia en la seguridad y confort del usuario del camino (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

De acuerdo a la tabla 2.55, según el manual de la ABC, para una categoría de camino de Desarrollo y una velocidad de 25 km/h, está constituida por un ancho de plataforma de 5 m y un ancho de carril de 2,50 m.

### **2.3.7.2. Bermas**

Son franjas que flanquean el pavimento de la calzada, constituidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial, o simplemente ser una prolongación de la capa de grava en los caminos no pavimentados (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

El ancho de la berma adoptado se da en la tabla 2.55, de acuerdo al manual de la ABC, está asociado a la categoría de camino de Desarrollo y una velocidad de 25 km/h es igual 0,50 m.

### **2.3.7.3. Sobreanchos de plataforma (SAP)**

La plataforma en terraplén tendrá siempre un SAP mínimo de 0,50 m que permita confinar las capas subbase y base de modo que en el extremo exterior de la berma sea posible alcanzar el nivel de compactación especificado (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

De acuerdo a la tabla 2.55, según el manual de la ABC, está asociado a la categoría de camino de Desarrollo y una velocidad de 25 km/h, se identifica que no tiene un sobreancho interior, pero si un sobreancho exterior mínimo de 0,50 m, el mismo fue adoptado para fines académicos.

#### 2.3.7.4. Bombeos

En tramos rectos, las calzadas deberán tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

**Tabla 2.56. Bombeo de la calzada**

Tipo de superficie	Pendiente transversal	
	$(\Gamma_{10}) \leq 15 \text{ mm/h}^{(1)}$	$(\Gamma_{10}) > 15 \text{ mm/h}^{(1)}$
Pav. De hormigón o asfalto	2,00	2,50
Tratamiento superficial	3,00	3,50
Tierra, grava, chancado	3,00 - 3,50	3,5 - 4,0

(1) Determinar mediante estudio hidrológico.

(2) En climas definitivamente desérticos, se pueden rebajar los bombeos hasta un valor límite de 2,50 %.

**Fuente:** Manual diseño geométrico, ABC

El bombeo según la tabla 2.56, del manual de la ABC, depende del tipo de superficie de rodadura y de la intensidad de la lluvia, de esta manera se adopta un valor de 2,50% para una zona montañosa con poca vegetación.

#### 2.3.8. Taludes

Inclinación del terreno después de haber realizado el corte o después de haber formado el terraplén, dependen de la aplicación de criterios de seguridad, estabilidad, mantenimiento, economía, condiciones hidrológicas, características geológicas y geotécnicas. (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

##### 2.3.8.1. Taludes de terraplén

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 (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

El talud de terraplén adoptado es de 1:1 (H: V), estos taludes son estables para todos los tipos de suelos del tramo, establecidos en consideración al factor de seguridad de

operación de los vehículos, es decir cuando un vehículo que se salga de la plataforma puede descender sin volcarse minimizando el accidente.

### 2.3.8.2. Taludes de corte

La inclinación de los taludes del corte variará a lo largo de la obra según sea la calidad y estratificación de los suelos encontrados. Dichas inclinaciones podrán ser únicas en un tramo del trazado, o bien presentar variaciones en un mismo perfil.

El talud de corte adoptado en el tramo vial Río Grande – Yerba Buena es de 1:3 (H: V), debido a que este tipo de corte es el predominante y se presenta en zonas con presencia de suelos finos.

### 2.3.9. Resumen de parámetros de diseño

Se analizó todos los criterios exigidos por el “Manual de Diseño Geométrico” de la ABC, revisando los parámetros que corresponden a cada uno de los elementos, se presentan a continuación en la tabla 2.57 y la tabla 2.58.

**Tabla 2.57. Parámetros de diseño horizontal**

<b>Características del camino según la ABC</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>
Categoría de la carretera	Desarrollo	-
Velocidad de diseño	25,00	km/h
Carriles	1 (Bidireccional)	-
Tipo de terreno	Ondulado montañoso	-
Distancia de frenado	25,00	m
Distancia de adelantamiento	180,00	m
Coef. De fricción transversal	0,223	-
Peralte máximo	7,00	%
Ancho de calzada	5,00	m
Ancho de carril	2,50	m
Bermas a cada lado	0,50	m

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 2.58. Parámetros de diseño horizontal**

Características del camino según la ABC	Parámetros	Unidades
Categoría de la carretera	Desarrollo	-
Velocidad de diseño	25,00	km/h
Carriles	1 (Bidireccional)	-
Tipo de terreno	Ondulado montañoso	-
Pendiente longitudinal máxima	10,00 - 12,00	%
Valor de k en curvas convexas	300,00	-
Valor de k en curvas cóncavas	400,00	-
Bombeo	2,50	%
Sección transversal	2,50	%

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3.10. Volúmenes de movimientos de tierra

No es posible diseñar una carretera simplemente teniendo en cuenta las características de pendiente, velocidad, grado de curvatura, drenaje, etc. Es obtenido a partir del trazado de la subrasante, indica la cantidad de volumen de corte y relleno que tiene el diseño.

Un método común para determinar el volumen es el del promedio de las áreas extremas (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

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

Donde:

V = Volumen (m<sup>3</sup>)

A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> = Áreas extremas (m<sup>2</sup>).

L = Distancia entre las secciones transversales (m).

**Tabla 2.59. Reporte del volumen de corte y relleno**

Progresiva	Área de relleno m <sup>2</sup>	Área de corte m <sup>2</sup>	Volumen relleno m <sup>3</sup>	Volumen corte m <sup>3</sup>	Volumen acumulado de relleno m <sup>3</sup>	Volumen acumulado de corte m <sup>3</sup>
0+000,00	0,19	1,71	0,00	0,00	0,00	0,00
0+020,00	0,00	15,39	1,86	170,95	1,86	170,95
0+040,00	3,70	3,29	36,98	186,79	38,85	357,74
0+060,00	0,16	7,76	38,29	111,30	77,14	469,04
0+075,00	33,64	0,00	218,11	62,85	295,25	531,89
0+090,00	61,33	0,00	637,45	0,00	932,70	531,89
0+105,00	12,04	8,01	496,28	65,37	1428,98	597,26
0+120,00	0,06	9,91	79,16	142,39	1508,14	739,65
0+135,00	1,04	2,78	8,35	94,41	1516,49	834,06
0+150,00	4,54	0,17	45,69	20,36	1562,18	854,41
0+165,00	7,27	0,00	95,92	1,15	1658,10	855,57
0+180,00	2,82	0,79	79,10	5,61	1737,20	861,18
0+200,00	0,00	11,46	28,17	122,45	1765,37	983,62
0+220,00	0,23	0,00	2,30	114,56	1767,68	1098,18
0+240,00	5,29	0,53	55,23	5,29	1822,91	1103,47
0+260,00	2,61	2,65	79,05	31,82	1901,95	1135,29
0+280,00	0,46	2,45	30,76	51,04	1932,72	1186,33
0+300,00	1,54	2,19	20,02	46,39	1952,74	1232,72
0+320,00	0,00	3,88	15,38	60,65	1968,13	1293,38
0+340,00	1,23	2,23	12,32	61,11	1980,44	1354,48
0+360,00	2,46	3,69	38,01	57,74	2018,45	1412,22
0+380,00	0,00	27,40	25,48	303,75	2043,94	1715,97
0+400,00	0,00	47,61	0,00	750,07	2043,94	2466,05

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.60. Volumen total de movimiento de tierra**

Volumen total de relleno (m <sup>3</sup> )	134091,63
Volumen total de corte (m <sup>3</sup> )	132882,51

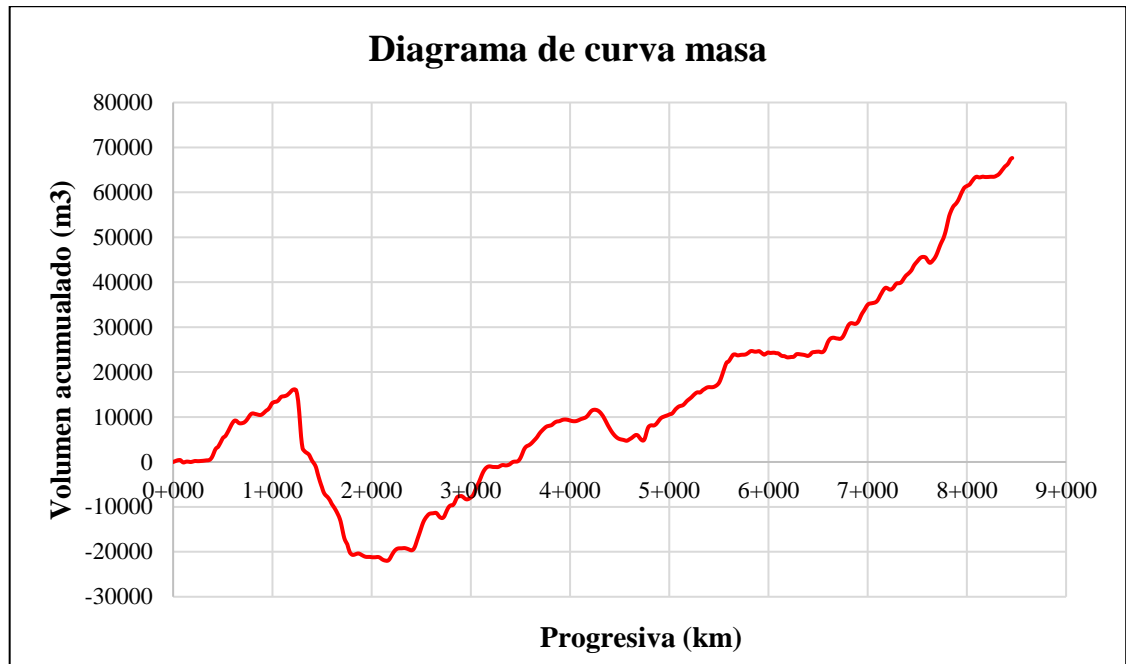
**Fuente:** Elaboración propia

El detalle de volumen corte y relleno se encuentra en el ANEXO VIII (volúmenes de movimientos de tierras).

### 2.3.11. Diagrama de curva masa

El diagrama de masas en el cual las accisas representan a las progresivas del camino y las ordenadas a los volúmenes acumulativos de las terracerías, es en este diagrama donde se analizan los movimientos de tierra para obtener un resultado satisfactorio (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

**Gráfica 2.13. Diagrama de curva masa**



**Fuente:** Elaboración propia

## 2.4. Diseño estructural

Para el presente diseño se utilizó el manual Diseño de Carreteras no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, el diseño esté sujeto a condiciones que ofrecen los suelos y materiales del tramo Río Grande – Yerba Buena. Se considera el procedimiento de diseño de dos alternativas:

- a) Tratamiento superficial.
- b) Ripiado de plataforma.

### 2.4.1. Tratamiento superficial

Es un revestimiento en el que un agregado es colocado uniformemente sobre un ligante bituminoso, previamente aplicado sobre la calzada, para luego ser compactado. Su espesor es aproximadamente igual a la mayor dimensión de los fragmentos pétreos.

Este diseño se basa principalmente en identificar o encontrar el "número estructural SN" para la superficie de rodadura (Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (IBCH), 2006; Alfonso Montejo Fonseca, 2002).

#### a) Método AASHTO - 93

Para el método de AASHTO – 93 la fórmula de diseño es:

$$\log_{10}W_{18} = Z_R \cdot S_o + 9,36\log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left\{ \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right\}}{\frac{0,40 + 1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32\log_{10}M_R - 0,87$$

Donde:

$W_{18}$  = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80 KN) calculadas conforme al tránsito vehicular.

$Z_R$  = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.

$S_o$  = Desviación estándar de todas las variables.

$\Delta PSI$  = Pérdida de serviciabilidad.

$M_R$  = Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN = Número estructural.

#### 2.4.1.1. Variables de entrada para el tratamiento superficial

Se describe a continuación las variables a considerar en el método AASHTO - 93.

##### a) Periodo de diseño

Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionalmente.

**Tabla 2.61. Periodo de diseño**

<b>Tipo de carretera</b>	<b>Periodo de diseño (años)</b>
Autopista regional	20 – 40
Troncales suburbanas	15 – 30
Troncales rurales	
Colectoras suburbanas	<b>10 – 20</b>
<b>Colectoras rurales</b>	

**Fuente:** Diseño de pavimentos (AASHTO -93) del IBCH

De acuerdo a la tabla 2.61, se adopta un periodo de diseño de 20 años, para un tipo de carretera rural según nuestro proyecto.

**b) Confiabilidad (R)**

Probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones (medio ambiente) que tiene lugar en ese lapso.

**Tabla 2.62. Niveles de confiabilidad**

<b>Niveles de confiabilidad</b>	
<b>Clasificación funcional</b>	<b>Nivel recomendado por AASHTO - 93</b>
Carretera interestatal o autopista	80 - 99,90
Red principal o federal	75 - 95
Red secundaria o estatal	75 - 95
<b>Red rural o local</b>	<b>50 - 80</b>

**Fuente:** Diseño de pavimentos (AASHTO -93) del IBCH

Se adopta una confiabilidad considerando la clasificación funcional de una carretera rural de bajo volumen de tránsito según la tabla 2.62, con un valor de  $R = 70\%$ , de acuerdo a este valor se tiene un  $Z_r = 0,52$ .

### c) Desviación estándar (So)

Permite diseñar un pavimento para un nivel predeterminado de confiabilidad, toma en cuenta la variabilidad asociada con el diseño, construcción y comportamiento del pavimento.

**Tabla 2.63. Valores recomendados para la Desviación Estándar (So)**

Condición de diseño	Desvío estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	0,34 pavimento rígido 0,44 pavimento flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0,39 pavimento rígido 0,49 pavimento flexible

**Fuente:** Diseño de pavimentos (AASHTO -93) del IBCH

El valor adoptado de la desviación estándar por recomendación que se utiliza para una construcción nueva de carretera es 0,45.

### d) Criterios para determinar la serviciabilidad

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y serviciabilidad final: la inicial ( $P_o$ ) es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final o terminal ( $P_t$ ) en función de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador.

#### Serviciabilidad inicial

- $P_o = 4,50$  para pavimentos rígidos.
- $P_o = 4,20$  para pavimentos flexibles.
- $P_o = 3,80$  para pavimentos de baja transitabilidad.

#### Serviciabilidad final

- $P_t = 2,50 - 3,00$  para vías con características de autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico.
- $P_t = 2,00 - 2,50$  para vías con características de autopistas urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas interurbanas.
- $P_t = 1,50 - 2,00$  para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas.

### **Pérdida índice de serviciabilidad**

Una vez que  $P_o$  y  $P_t$  son establecidos, la pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño  $\Delta PSI$  se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Donde:

$\Delta PSI$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado.

$P_o$  = Índice de servicio inicial.

Para el diseño del paquete estructural se consideró una serviciabilidad inicial  $P_o = 3,80$ , una serviciabilidad final  $P_t = 2,00$  y una diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado  $\Delta PSI = 1,80$ .

### **e) Módulo Resiliente de la Subrasante**

La base para la caracterización de los materiales de subrasante en este método, es el módulo resiliente o elástico. Se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos como por ejemplo el CBR (American Association of State Highway and Transportation officials, 1993).

Para materiales de subrasante con CBR igual o menor a 10,00 %.

$$M_R = 1500 \cdot CBR \text{ (Psi)}$$

Para materiales de subrasante con CBR de 10,00% a 20,00 %.

$$M_R = 3000 \cdot CBR^{0.65} \text{ (Psi)}$$

Para materiales de subrasante con valores de CBR mayores a 20,00 %.

$$M_R = 4326 \cdot \ln CBR + 241 \text{ (Psi)}$$

Para el presente cálculo del módulo de resiliencia de diseño, se utilizó la expresión de un CBR igual o menor a 10,00%. El módulo de resiliencia obtenido para la subrasante es de 15000 (Psi) y de esta manera permite el cálculo del número estructural.

## f) Coeficientes de drenaje

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.

**Tabla 2.64. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles**

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menor del 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	Mayor del 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
<b>Regular</b>	1,25 – 1,15	<b>1,15 – 1,05</b>	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) del IBCH

De acuerdo a la tabla 2.64, se adopta un coeficiente de drenaje  $m_1 = 1,15$  y  $m_2 = 1,00$  regular que se encuentra en función del tiempo de la calidad de drenaje de la zona en estudio y el porcentaje de saturación.

### 2.4.1.2. Determinación de espesores

Una vez obtenido el número estructural SN para la sección estructural del pavimento, utilizando la fórmula de diseño, se requiere ahora determinar una sección multicapa (Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (IBCH), 2006; Alfonso Montejó Fonseca, 2002).

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

Donde:

SN = Número estructural requerido.

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

$D_1$ ,  $D_2$  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. No es práctico ni económico colocar capas de un espesor menor que el mínimo requerido.



**Tabla 2.65. Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular**

Número de ESALs	Concreto asfáltico (cm)	Base granular (cm)
Menos de 50,000	2,50	10,00
50,000 - 15,000	5,00	10,00
<b>150,000 - 500,000</b>	6,50	10,00
500,000 - 2,000,000	7,50	15,00
2,000,000 - 7,000,000	9,00	15,00
Más de 7,000,000	10,00	15,00

**Fuente:** Diseño de pavimentos (AASHTO-93) del IBCH

El espesor mínimo que debe tener la estructura de acuerdo a la tabla 2.65, se encuentra en función del número de ESALs.

#### 2.4.1.3. Variables de diseño tratamiento superficial

Para definir las variables de diseño se adoptó de acuerdo al método AASTHO – 93, las mismas se muestran a continuación en la tabla 2.66.

**Tabla 2.66. Variables de diseño según el método AASTHO – 93**

<b>Datos</b>			
ESALs	$W_{18}$	177824,34	-
Tipo de tráfico	TP	TP1	
Número de etapas		1,00	
Confiabilidad al 70%	$Z_R$	-0,52	%
Desviación estándar	$S_o$	0,45	-
Serviciabilidad inicial	$P_t$	3,80	-
Serviciabilidad final	$P_o$	2,00	-
Perdida de serviciabilidad	$\Delta PSI$	1,80	-
Coeficiente de drenaje	$C_d$	$m_1 = 1,15$ y $m_2 = 1,00$	-
<b>Datos de suelo</b>			
CBR base	CBR	80,00	%
CBR subbase	CBR	30,00	%
CBR subrasante	CBR	10,00	%
Modulo resiliente	$M_R$	15000	Psi

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.67. Espesores de capas**

Componente del pavimento	Coefficiente	Valor coeficiente estructural a (cm <sup>-1</sup> )	Observación
<b>Capa superficial</b>			
Carpeta asfáltica en caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20°C (68°F).	a <sub>1</sub>	0,170	Capa superficial recomendada para todos los tipos de tráfico
Carpeta asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión.	a <sub>1</sub>	0,125	Capa superficial recomendada para tráfico ≤ 1'000,000 EE
Micropavimento 25mm	a <sub>1</sub>	0,130	Capa superficial recomendada para tráfico ≤ 1'000,000 EE
Tratamiento superficial bicapa	a <sub>1</sub>	0,25 (*)	Capa superficial recomendada para tráfico ≤ 500,000EE.
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.	a <sub>1</sub>	0,15 (*)	Capa superficial recomendada para tráfico ≤ 500,000EE.
(*) Valor global (no se considera el espesor)			
<b>Base</b>			
Base granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a <sub>2</sub>	0,052	Capa de base recomendada para tráfico ≤ 5'000,000 EE
Base granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a <sub>2</sub>	0,054	Capa de base recomendada para tráfico > 5'000,000 EE
Base granular tratada con asfalto (Estabilidad Marshall = 500 lb)	a <sub>2a</sub>	0,130	Capa de base recomendada para todos los tipos de tráfico
Base granular tratada con cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm <sup>2</sup> )	a <sub>2b</sub>	0,070	Capa de base recomendada para todos los tipos de tráfico
Base granular tratada con cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm <sup>2</sup> )	a <sub>2c</sub>	0,080	Capa de base recomendada para todos los tipos de tráfico
<b>Sub base</b>			
Sub base granular CBR 30%, compactada al 100% de la MDS	a <sub>3</sub>	0,043	Capa de sub base recomendada para tráfico ≤ 15'000,000 EE
Sub base granular CBR 60%, compactada al 100% de la MDS	a <sub>3</sub>	0,050	capa de sub base recomendada para tráfico > 15'000,000 EE

**Fuente:** Manual de carreteras, MTC

**Para un periodo de 20 años por el método AASHTO - 93**

Para el método de AASHTO – 93 la fórmula de diseño es:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_o + 9,36 \log_{10} (SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left\{ \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right\}}{\frac{0,40 + 1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_R - 0,87$$

Número estructural requerido (SNR) = 1,73 (Iterar)

N18 Nominal = 5,25

N18 Calculado = 5,25

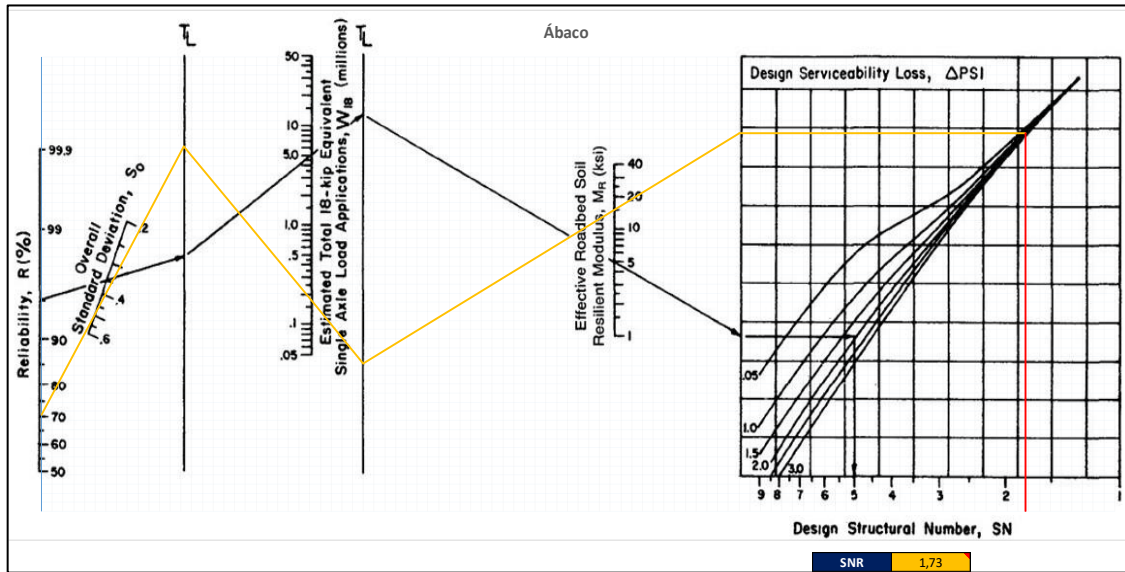
**Tabla 2.68. Resultados del paquete estructural tratamiento superficial**

Capa de material		Coefficiente de Capa (a) (cm <sup>-1</sup> )	Coefficiente de Drenaje (m)	Espesor (Cm)	SNR (Requerido)	SNR (Resultado)	Debe cumplir SNR (resultado) > SNR (requerido)
Carpeta asfáltica en caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 oF)	Capa superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico	0,17	1,15	3,00	1,73	1,77	Si Cumple
Base granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	Capa de base recomendada para tráfico ≤ 5'000,000 EE	0,052	1,00	21,00			
Sub base granular CBR 30%, compactada al 100% de la MDS	Capa de sub base recomendada para tráfico ≤ 15'000,000 EE	0,043	1,00	0,00			

**Fuente:** Elaboración propia

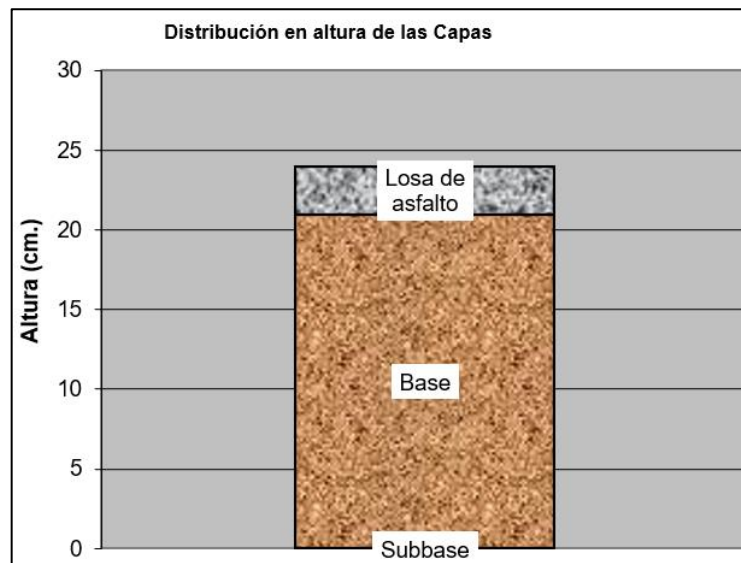
Para un periodo de 20 años por el ábaco de AASHTO – 93

Gráfica 2.14. Cálculo del número estructural por el ábaco de AASHTO – 93



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 2.15. Estructura de la superficie de rodadura



Fuente: Elaboración propia

El diseño del paquete estructural de tratamiento superficial, en base al método “AASHTO - 93”, obteniendo una base de agregados de 21,00 cm y una carpeta de rodadura 3,00 cm.

### 2.4.2. Ripiado de plataforma

Consiste en el suministro, colocación, distribución y compactación, de una o varias capas hasta un espesor no menor a 15 cm de material seleccionado sobre una superficie preparada (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), 2008).

#### 2.4.2.1. Secciones de capa de afirmado

Se adoptó como representativa la siguiente ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTRROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de EE.

Se debe cumplir con los requisitos de estas especificaciones en cuanto a mantener una nivelación constante del suelo y que tenga la propiedad de compactarse en una capa de ripio estable y densa. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), 2008).

**Tabla 2.69. Variables de diseño ripiado de plataforma**

ESALs	W <sub>18</sub>	177824,34	-
CBR de subrasante	CBR	10,00	%

**Fuente:** Elaboración propia

$$e = [219 - 211 \cdot (\text{Log}_{10}\text{CBR}) + 58 \cdot (\text{Log}_{10}\text{CBR})^2] \cdot \text{Log}_{10}\left(\frac{N_{\text{rep}}}{120}\right)$$

Donde:

e = Espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = Valor del CBR de la sub rasante.

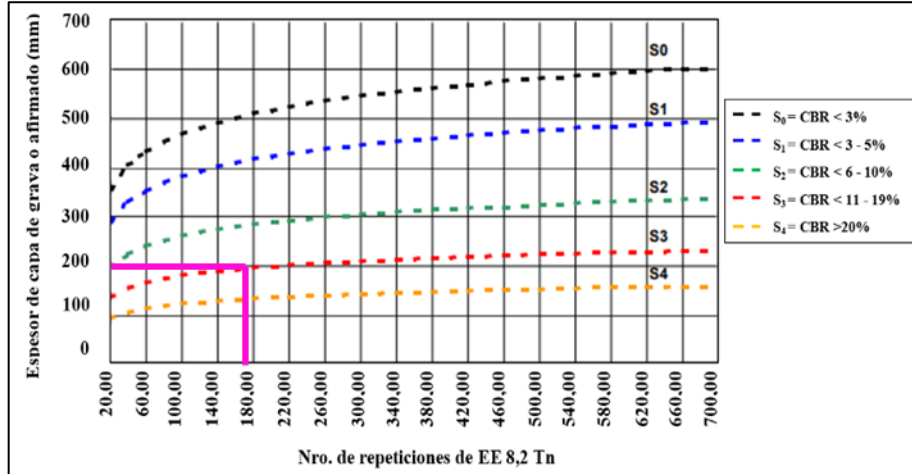
N<sub>Rep</sub> = Número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

Se procedió a calcular el espesor de la capa de afirmado introduciendo los valores ESALs y el CBR obteniendo de esta manera su espesor de:

$$e = 209,27 \text{ mm}$$

$$e = 20,93 \text{ cm} = 21,00 \text{ cm}$$

**Gráfica 2.16. Espesor de capa de revestimiento granular**



**Fuente:** Método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTRROADS)

Para la alternativa de tratamiento superficial se obtuvo un espesor de la capa de rodadura igual a 3,00 cm y una capa base de 21,00 cm; para la alternativa de ripleado de plataforma un espesor de 21,00 cm. De esta manera se analizó cada una de las alternativas, considerando el análisis económico, los aspectos técnicos y de acuerdo a las necesidades de la zona se descartó la propuesta de tratamiento superficial debido a que presenta espesores más altos.

## 2.5. Diseño de drenaje

Tiene por objeto drenar adecuadamente las aguas superficiales que interceptan su infraestructura fluyendo por cauces naturales o artificiales, ya sea de forma permanente o temporal, para asegurar su estabilidad y permanencia (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

### 2.5.1. Diseño hidráulico de las obras de arte complementarias

Corresponde a determinar la sección transversal, la carga hidráulica y garantizar su funcionamiento (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

**a) Periodo de retorno**

Su correcta elección o determinación contribuye de manera directa en el funcionamiento adecuado de las obras a proyectarse.

**Tabla 2.70. Periodos de retorno**

Tipo de Obra	Tipo de ruta	Periodo de retorno (T años)		Vida útil supuesta (n; años)
		Diseño (3)	Verificación (4)	
Puentes y viaductos (1)	Carretera	200	300	50
	Camino	100	150	50
Alcantarillas ( $S > 1,75 \text{ m}^2$ ) o Htterra $\geq 10 \text{ m}$ y Estructuras enterradas (2)	Carretera	100	150	50
	Camino	50	100	30
Alcantarillas ( $S < 1,75 \text{ m}^2$ )	Carretera	50	100	50
	Camino	25	50	30
Drenaje de la plataforma	Carretera	10	25	10
	Camino	5	10	5
Defensas de riberas	Carretera	100	-	20
	Camino	100	-	20

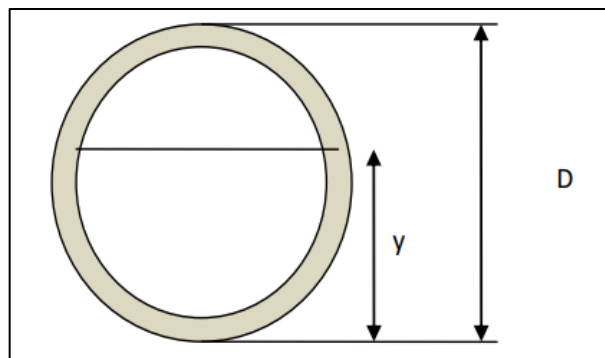
**Fuente:** Manual de hidrología y drenaje, ABC

De acuerdo a la tabla 2.70, del manual de hidrología y drenaje de la ABC, el periodo de retorno para alcantarillas es de 25 años con una verificación para 50 años y para cunetas es de 5 años con una verificación para 10 años.

**2.5.1.1. Diseño de alcantarillas de alivio**

En el diseño se proyecta la construcción de alcantarillas de sección circular de chapa ARMCO, de diferentes diámetros según el caudal de diseño que presentan (Villón Béjar, 2007).

**Figura 2.23. Sección de diseño tipo circular**



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.71. Ubicación de alcantarillas**

N° Alcant.	Prog. (m)	Área aporte (m <sup>2</sup> )	Longitud de río (m)	Cota menor (m)	Cota mayor (m)	Pendiente (m/m)	Desnivel (m)
C-1	0+090	510000,00	1423,00	1981,00	2394,00	0,29	413,00
C2Puente	1+260	123860000,00	25091,00	1976,00	3791,00	0,07	1815,00
C-3	4+400	21657,00	383,00	2302,00	2438,00	0,36	136,00
C-4	5+010	31920,00	362,00	2326,00	2482,00	0,43	156,00
C-5	5+580	25156,00	265,00	2408,00	2505,00	0,37	97,00
C-6	6+000	72927,00	583,00	2481,00	2679,00	0,34	198,00
C-7	6+240	79146,00	525,00	2525,00	2728,00	0,39	203,00
C-8	6+450	75803,00	463,00	2540,00	2720,00	0,39	180,00

**Fuente:** Elaboración propia

**b) Coeficientes de escurrimiento “C”**

Los coeficientes de escurrimiento dependen de las características del terreno, uso y manejo del suelo, condiciones de infiltración, relieve, etc. (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007).

**Tabla 2.72. Coeficiente de escurrimiento**

Tipo de terreno	Coeficiente de escurrimiento
Pavimentos de adoquín	0,50 - 0,70
<b>Pavimentos asfálticos</b>	<b>0,70 - 0,95</b>
Pavimentos en concreto	0,80 - 0,95
Suelo arenoso con vegetación y pendiente 2,00% - 7,00%	0,15 - 0,20
Suelo arcilloso con pasto y pendiente 2,00% - 7,00%	0,25 - 0,65
<b>Zonas de cultivo</b>	<b>0,20 - 0,40</b>

**Fuente:** Manual de hidrología y drenaje, ABC

De acuerdo a la tabla 2.72, del manual de hidrología y drenaje de la ABC, se adopta el coeficiente de escurrimiento que depende del tipo de terreno para zonas de cultivo que es  $C = 0,40$  y para pavimentos asfálticos  $C = 0,85$ .



**c) Caudal de diseño método racional**

El caudal de diseño para las diferentes alcantarillas de alivio, se lo determinó a través del método racional, utilizado en cuencas pequeñas, menores de 25 km<sup>2</sup>.

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3,60}$$

Donde:

Q<sub>máx</sub> = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s).

C = Coeficiente de escorrentías (0,40).

I = Intensidad máxima(mm/h), para un periodo de retorno de 25 años.

A = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

**Tabla 2.73. Caudales de diseño para alcantarillas de alivio**

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Longitud de rio (km)	Pendiente (%)	Tc (h)	Intensidad (mm/h)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
C-1	0,51	1,42	29,02	0,19	125,36	<b>7,10</b>
C-2 Puente	123,86	25,09	7,23	2,08	26,60	<b>366,06</b>
C-3	0,02	0,38	35,51	0,10	194,38	<b>0,47</b>
C-4	0,03	0,36	43,09	0,09	203,64	<b>0,72</b>
C-5	0,03	0,27	36,60	0,11	183,14	<b>0,51</b>
C-6	0,07	0,58	33,96	0,12	168,52	<b>1,37</b>
C-7	0,08	0,53	38,67	0,11	176,65	<b>1,55</b>
C-8	0,08	0,46	38,88	0,11	175,66	<b>1,48</b>

**Fuente:** Elaboración propia

A continuación, se presenta el diseño de una alcantarilla de alivio con el mayor caudal, para esto se utilizó el programa Hcanales.

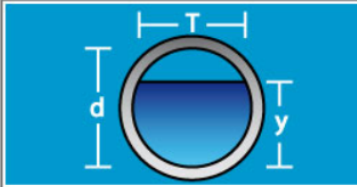
**Gráfica 2.17. Cálculo de alcantarilla circular**

Lugar:	<input type="text" value="Padcaya"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Diseño de ingeniería"/>
Tramo:	<input type="text" value="Rio Grande-Yerba Buena"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Armco"/>

**Datos:**

Caudal (Q):	<input type="text" value="3.55"/>	m <sup>3</sup> /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="2"/>	m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.024"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.02"/>	m/m

**Resultados:**

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.7570"/>	m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="2.6507"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="1.0897"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.4111"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="1.9401"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="3.2578"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.3879"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="1.2980"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>				

**Fuente:** Elaboración propia, Hcanales

**Tabla 2.74. Resumen de alcantarillas de alivio**

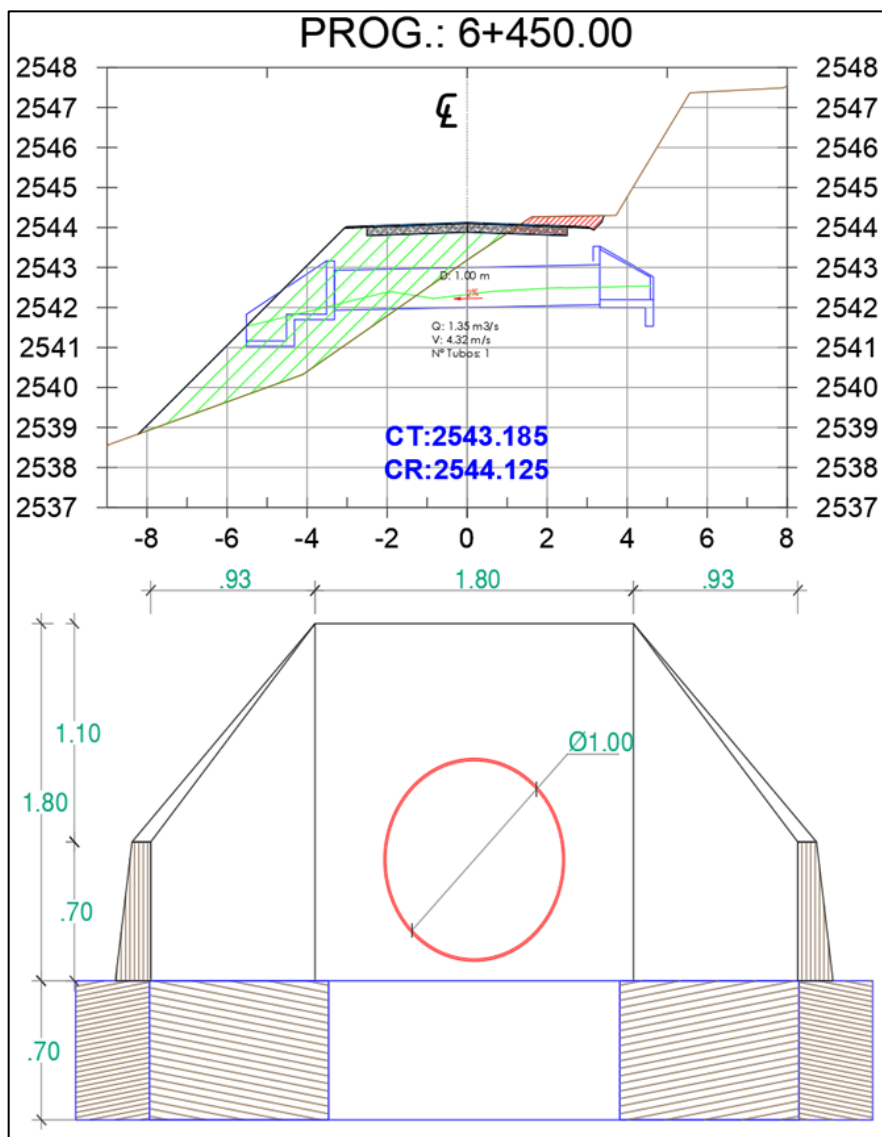
Cuenca	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Pendiente (m/m)	Diámetro (m)	Tirante (m)	Velocidad (m/s)	Condición $y/d \leq 0,60$	Nº Tubos
C-1	7,10	0,02	1,00	0,75	3,25	0,38	2,00
C-2 Puente	366,06	0,07	-	1,25	27,53	-	Puente
C-3	0,47	0,02	1,00	0,35	1,96	0,35	1,00
C-4	0,72	0,02	1,00	0,43	2,20	0,43	1,00
C-5	0,51	0,02	1,00	0,36	2,00	0,36	1,00
C-6	1,37	0,02	1,00	0,42	4,34	0,42	1,00
C-7	1,55	0,02	1,00	0,45	4,48	0,45	1,00
C-8	1,48	0,02	1,00	0,44	4,42	0,44	1,00

**Fuente:** Elaboración propia

Para el diseño hidráulico se determinó el material de las alcantarillas de alivio, pendiente longitudinal de la alcantarilla de alivio y tirante al 60,00% del diámetro.

Según las especificaciones de los tubos tipo ARMCO, la pendiente es de 0,50% a 5,00% (se recomienda un 2,00%), y la velocidad máxima no tendrá que exceder de los 5,00 m/s, para evitar sedimentación y erosión el mismo presenta una rugosidad de 0,024.

**Figura 2.24. Diseño alcantarilla de alivio**



**Fuente:** Elaboración propia

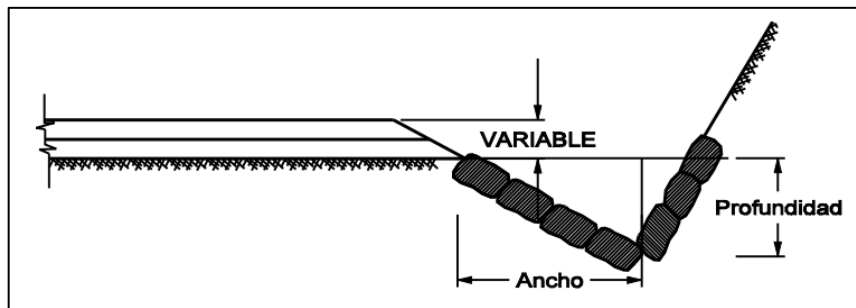
Se dispone de dimensiones mínimas según el manual de hidrología y drenaje de la ABC, para alcantarillas de caminos locales o de desarrollo, se utilizó diámetros constructivos de,  $D = 1,00$  m.

El detalle de alcantarillas se muestra en el ANEXO IX (diseño de alcantarillas de alivio).

### 2.5.1.2. Diseño de cunetas

Las cunetas pueden ser de sección en forma triangular, trapezoidal, rectangular y semicircular. Debido a la facilidad constructiva, considerando que se tiene de mucha precipitación en la zona, se opta por una sección triangular con taludes asimétricos 1:2 y 1:1 ya que es la más fácil de construir (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2007; Máximo Villón Béjar, 2007).

**Figura 2.25. Sección de diseño tipo triangular**



**Fuente:** Manual de diseño geométrico, ABC

### Ecuación método racional

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3,60}$$

Donde:

$Q_{\text{máx}}$  = Caudal máximo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$C$  = Coeficiente de escorrentías (0,40 y 0,85).

$I$  = Intensidad máxima ( $\text{mm}/\text{h}$ ), para un periodo de retorno de 5 años.

$A$  = Área de la cuenca ( $\text{km}^2$ ).

### Caudal de aporte

Los caudales de aporte para el drenaje de plataforma, se estimarán mediante el método racional modificado.

Datos

$I_{\text{max}} = 94,45$  ( $\text{mm}/\text{h}$ )

$L$  = Longitud del tramo = 98,04 (m)

$a$  = Ancho del carril + berma = 3,03 (m)

$A_{\text{apc}}$  = Área de aporte carril = 294,12 ( $\text{m}^2$ )

$A_{apt} = \text{Área de aporte de terreno} = 84,44 \text{ (m}^2\text{)}$

$A_{apT} = \text{Área de aporte total} = 0,00038 \text{ (km}^2\text{)}$

$C_p = \text{Coeficiente de escorrentía para pavimento asfáltico y concreto} = 0,85$

$C_s = \text{Coeficiente de escorrentía para zonas de cultivo} = 0,40$

$C_{Pond} = \text{Coeficiente de escorrentía ponderado} = 0,75$

$$C_{ponderado} = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2}{A_1 + A_1} = \frac{0,85 \cdot 294,12 + 0,40 \cdot 84,44}{294,12 + 84,44} = 0,75$$

$$Q = \frac{0,75 \cdot 94,45 \cdot 0,00038}{3,60} = 0,0074 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,0074 \text{ m}^3/\text{s}$$

### Coeficiente de rugosidad “n”

De acuerdo al material de las cunetas, se obtendrá los coeficientes de rugosidad de Manning como se muestra en la tabla 2.75.

**Tabla 2.75. Coeficientes de rugosidad**

Materiales	n
<b>a) Hormigón</b>	<b>0,018</b>
b) Metal Corrugado	
<b>Ondulaciones estándar (68mm x 13mm)</b>	<b>0,024</b>
25% revestido	0,021
Totalmente revestido	0,012
Ondulaciones medianas (76mm x 25mm)	0,027
25% revestido	0,023
Totalmente revestido	0,012
Ondulaciones grandes (152mm x 51mm)	
25% revestido	0,026
Totalmente revestido	0,012

**Fuente:** Manual de hidrología y drenaje, ABC

Según la tabla 2.75, el manual de hidrología y drenaje de la ABC, indica que la rugosidad para hormigones es de 0,018 y para metal corrugado es de 0,024.

### Velocidades máximas admisibles en cunetas revestidas

Los valores de velocidad calculados por Manning, fueron comparados con los valores de velocidad máximas permitidas a fin de evitar erosión en los distintos tipos de suelos.

**Tabla 2.76. Velocidades máximas admisibles cunetas revestidas**

Tipo de revestimiento	Velocidad admisible (m/s)
Mezclas asfálticas en sitio y tratamientos superficiales	3,00
Mampostería en piedra	4,50
Hormigón asfáltico y de cemento Pórtland	4,50

**Fuente:** Manual de hidrología y drenaje, ABC

De acuerdo a la tabla 2.76, según el manual de hidrología y drenaje de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) la velocidad máxima admisible adoptada es de 4,50 m/s para garantizar un adecuado funcionamiento de las cunetas.

### Diseño de la cuneta

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

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

Donde:

Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

A = Área de la cuenca (m<sup>2</sup>).

R<sub>h</sub> = Radio hidráulico (m).

S = Pendiente (m/m).

### Cuneta triangular

$$Y_n = \sqrt[3]{\left( \frac{2 \cdot Q \cdot n \cdot \left( 2 \cdot \left( \sqrt{1 + Z_1^2} + \sqrt{1 + Z_2^2} \right) \right)^{2/3}}{S^{1/2} \cdot (Z_1 + Z_2)^{5/3}} \right)^3}$$

Donde:

Y<sub>n</sub> = Tirante normal

Z = Talud

## Dimensionamiento de la cuneta triangular

El material que se usará para la construcción de la cuneta es:

Datos:

$$n = 0,018$$

$$Z_1 = 2$$

$$Z_2 = 1$$

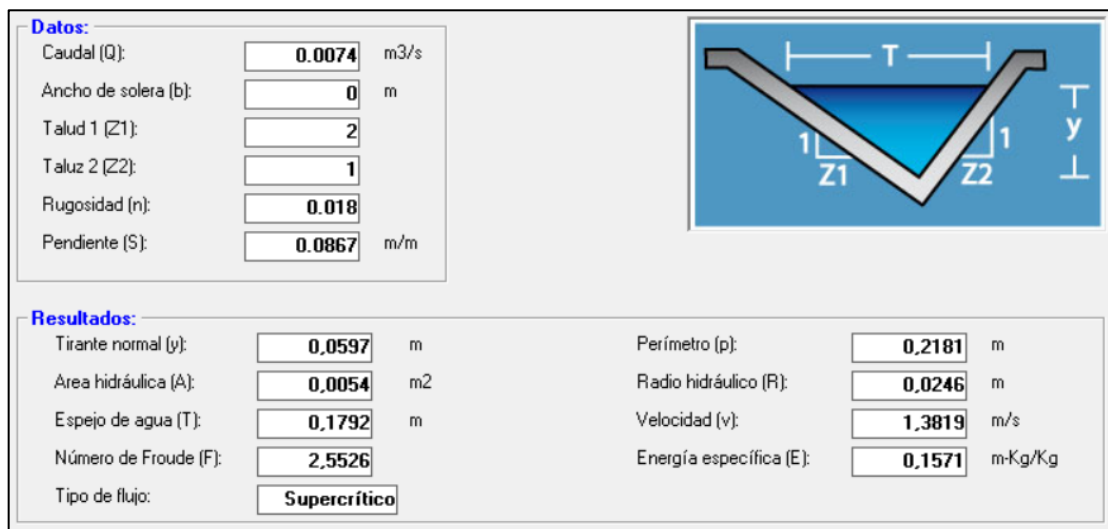
$$Q = 0,0074 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$S = 0,087 \text{ (m/m)}$$

$$Y_n = \sqrt[8]{\left( \frac{2 \cdot 0,074 \cdot 0,018 \cdot \left( 2 \cdot \left( \sqrt{1 + 1_1^2} + \sqrt{1 + 2_2^2} \right) \right)^{2/3}}{0,087^{1/2} \cdot (1_1 + 2_2)^{5/3}} \right)^3} = 0,06m$$

Verificación del tirante de la cuneta en Hcanales.

**Gráfica 2.18. Verificación del tirante de la cuneta**



**Fuente:** Elaboración propia, Hcanales

**Tabla 2.77. Resumen ubicación de cunetas**

Ubicación cuneta					
Lado izquierdo			Lado derecho		
Progresiva		Longitud	Progresiva		Longitud
Inicio	Final	L (m)	Inicio	Final	L (m)
0+116,96	0+475	98,04	0+000	0+475	406,93
0+475	0+620	120,00	0+475	0+620	145,00
0+720	0+780	60,00	0+680	0+900	140,00
0+900	1+095	135,00	0+900	1+095	170,98
1+095	1+180	53,43	1+095	1+180	85,00
1+180	2+290	150,00	1+180	2+260	377,95
2+290	2+320	30,00	2+415	3+175	484,19
2+320	3+120	515,00	3+175	3+385	210,00
3+390	3+605	140,00	3+385	3+560	180,00
3+605	3+880	245,00	3+605	3+880	210,00
3+880	4+220	100,00	3+880	4+235	235,00
4+635	4+795	62,79	4+235	4+795	205,00
4+795	4+980	126,23	4+795	5+030	235,00
5+040	5+360	203,80	5+030	5+370	314,22
5+393,77	5+425	9,74	5+370	5+393	23,77
5+425	5+640	185,00	5+445	5+750	275,00
5+799,42	5+806,05	6,63	5+750	5+815	65,00
5+889,34	6+435	40,66	5+815	6+475	472,44
6+555	6+810	214,06	6+475	6+495	20,00
6+890	7+505	490,00	6+495	6+890	223,12
7+505	7+520	15,00	6+890	7+505	511,05
7+635	7+980	345,00	7+505	7+560	55,00
8+040	8+440	125,00	7+635	7+995	360,00
			7+995	8+457,2	422,20
Longitud parcial (m)		3470,38	Longitud parcial (m)		5826,85
<b>Longitud total (m)</b>		<b>9297,23</b>			

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 2.78. Resumen dimensionamiento cuneta lado izquierdo**

Dimensionamiento cuneta lado izquierdo									
Progresiva		Caudal de diseño Q (m <sup>3</sup> /s)	Coef. rugosid. C	Tirante Y (m)	Inclinación de paredes		Pendiente long. S (%)	Espejo T (m)	Velocidad V (m/s)
Inicio	Final				Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>			
0+116,96	0+475	0,0292	0,018	0,10	2,00	1,00	0,087	0,30	1,95
0+475	0+620	0,012	0,018	0,10	2,00	1,00	0,015	0,30	0,81
0+720	0+780	0,017	0,018	0,10	2,00	1,00	0,030	0,30	1,15
0+900	1+095	0,040	0,018	0,10	2,00	1,00	0,17	0,30	2,70
1+095	1+180	0,017	0,018	0,10	2,00	1,00	0,030	0,30	1,14
1+180	2+290	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,29
2+290	2+320	0,017	0,018	0,10	2,00	1,00	0,028	0,30	1,10
2+320	3+120	0,101	0,018	0,15	2,00	1,00	0,12	0,45	3,00
3+390	3+605	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,26
3+605	3+880	0,041	0,018	0,10	2,00	1,00	0,020	0,30	2,72
3+880	4+220	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,28
4+635	4+795	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,29
4+795	4+980	0,044	0,018	0,10	2,00	1,00	0,20	0,30	2,96
5+040	5+360	0,033	0,018	0,10	2,00	1,00	0,112	0,30	2,21
5+393,77	5+425	0,012	0,018	0,10	2,00	1,00	0,014	0,30	0,78
5+425	5+640	0,032	0,018	0,10	2,00	1,00	0,11	0,30	2,15
5+799,42	5+806,05	0,012	0,018	0,10	2,00	1,00	0,014	0,30	0,77
5+889,34	6+435	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,29
6+555	6+810	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,29
6+890	7+505	0,101	0,018	0,20	2,00	1,00	0,12	0,61	1,60
7+505	7+520	0,011	0,018	0,10	2,00	1,00	0,012	0,30	0,73
7+635	7+980	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,29
8+040	8+440	0,028	0,018	0,10	2,00	1,00	0,081	0,30	1,89

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.79. Resumen dimensionamiento de cunetas lado derecho**

Dimensionamiento de cuneta lado derecho									
Progresiva		Caudal de diseño Q (m <sup>3</sup> /s)	Coef. rugosid. C	Tirante Y (m)	Inclinación de paredes		Pendiente long. S (%)	Espejo T (m)	Velocidad V (m/s)
Inicio	Final				Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>			
0+000	0+475	0,086	0,018	0,15	2,00	1,00	0,087	0,45	2,55
0+475	0+620	0,036	0,018	0,15	2,00	1,00	0,015	0,45	1,06
0+680	0+900	0,017	0,018	0,10	2,00	1,00	0,030	0,30	1,15
0+900	1+095	0,040	0,018	0,10	2,00	1,00	0,17	0,30	2,70
1+095	1+180	0,017	0,018	0,10	2,00	1,00	0,030	0,30	1,14
1+180	2+260	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,29
2+415	3+175	0,101	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	6,75
3+175	3+385	0,029	0,018	0,15	2,00	1,00	0,010	0,45	0,84
3+385	3+560	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,26
3+605	3+880	0,041	0,018	0,15	2,00	1,00	0,020	0,45	1,21
3+880	4+235	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,28
4+235	4+795	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,29
4+795	5+030	0,044	0,018	0,10	2,00	1,00	0,20	0,30	2,96
5+030	5+370	0,033	0,018	0,10	2,00	1,00	0,11	0,30	2,21
5+370	5+393	0,012	0,018	0,10	2,00	1,00	0,014	0,30	0,78
5+445	5+750	0,032	0,018	0,10	2,00	1,00	0,11	0,30	2,16
5+750	5+815	0,012	0,018	0,10	2,00	1,00	0,014	0,30	0,77
5+815	6+475	0,101	0,018	0,15	2,00	1,00	0,12	0,45	3,00
6+475	6+495	0,015	0,018	0,10	2,00	1,00	0,023	0,30	0,99
6+495	6+890	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,29
6+890	7+505	0,101	0,018	0,15	2,00	1,00	0,12	0,45	2,98
7+505	7+560	0,011	0,018	0,10	2,00	1,00	0,012	0,30	0,73
7+635	7+995	0,034	0,018	0,10	2,00	1,00	0,12	0,30	2,29
7+995	8+457,2	0,083	0,018	0,15	2,00	1,00	0,081	0,45	2,47

**Fuente:** Elaboración propia

El detalle de cunetas se muestra en el ANEXO X (diseño de cunetas).

## 2.6. Presupuesto del diseño

Con el fin de obtener la mejor alternativa económica para la construcción del pavimento en el diseño de ingeniería tramo vial Río Grande-Yerba Buena, se analizaron los presupuestos de la alternativa 1 (tratamiento superficial) con la alternativa 2 (ripiado de plataforma).

### 2.6.1. Cómputos métricos

El fin de realizar los cómputos métricos es la determinación de los volúmenes de los materiales que se van a remover en su estado natural.

La tabla 2.80 muestra las cantidades de los ítems y sus volúmenes a realizar para la alternativa de un tratamiento superficial y un ripiado de plataforma.

**Tabla 2.80. Planilla de cómputos métricos**

Nº Item	Item	Unidad	Total acumulado
<b>M01</b>	<b>Obras preliminares</b>		
1	Instalación de faenas	<b>Glb</b>	1,00
2	Limpieza de terreno	<b>Ha</b>	8,46
3	Replanteo y control topográfico	<b>Km</b>	8,46
4	Provisión y colocado de letrero de obras	<b>Pza</b>	1,00
<b>M02</b>	<b>Movimiento de tierras</b>		
5	Excavación con maquinaria	<b>m<sup>3</sup></b>	134091,63
6	Construcción de terraplenes	<b>m<sup>3</sup></b>	132882,51
<b>M03</b>	<b>Conformación del paquete estructural</b>		
7	Conformación capa base	<b>m<sup>3</sup></b>	8880,06
8	Imprimación bituminosa	<b>m<sup>2</sup></b>	50743,20
9	Tratamiento superficial doble	<b>m<sup>2</sup></b>	42286,00
10	Ripiado de plataforma	<b>m<sup>3</sup></b>	8880,06
<b>M04</b>	<b>Obras de arte menor</b>		
11	Replanteo y control de obras de arte menor	<b>Pza</b>	8,00
12	Excavación no clasificada c/maq p/oras de arte	<b>m<sup>3</sup></b>	108,00
13	Excavación manual p/cunetas revestidas	<b>m<sup>3</sup></b>	660,15
14	Cama de arena	<b>m<sup>3</sup></b>	7,20
15	Hormigón ciclópeo para obras de arte menor 50% pd	<b>m<sup>3</sup></b>	63,71
16	Provisión y colocado de tubería ARMCO (d=1 m)	<b>ml</b>	48,00
17	Relleno común y compactado	<b>m<sup>3</sup></b>	24,00
18	Cuneta de piedra con revestimiento	<b>ml</b>	9297,23
<b>M05</b>	<b>Señalización</b>		
19	Demarcación del pavimento horizontal	<b>ml</b>	16914,40

<b>M06</b>	<b>Prov. Y coloc. Placa de entrega de obras</b>		
20	Limpieza y retiro de escombros	<b>Glb</b>	1,00
21	Placa de entrega de obra	<b>Pza</b>	1,00

**Fuente:** Elaboración propia

El cálculo de los cómputos métricos y todos los detalles de cualquier ítem para el tramo vial Río Grande – Yerba Buena se desglosa en el anexo correspondiente ANEXO XI (cómputos métricos).

### 2.6.2. Análisis de precios unitarios y presupuesto general

El análisis de precios unitarios para los diferentes ítems de construcción que se definieron en el presente proyecto, se desarrolló teniendo en cuenta tres componentes específicos: mano de obra, equipo y materiales. Para cada componente se consideraron los Gastos Generales, Utilidades e Impuestos, donde cada uno de estos rubros se los analizó en forma particular (Cámara Departamental de la Construcción, (CADECO), 2023).

Para el análisis de precios unitarios se utilizó el programa de QUARK (costos y presupuestos). Por consiguiente, la hoja de costos fue conformada de la siguiente manera:

**Gráfica 2.19. Estructura de precios unitarios**

Código del Proyecto	DI004		
Descripción del Proyecto	ALT 2 RIPIADO DE PLATAFORMA TRAMO RIO GRANDE - YERBA BUENA		
Ubicación del Proyecto	PROV ARCE - MUNICIPIO PADCAYA		
Cliente			
Factores de Cálculo del Proyecto			
Gastos Financieros	0.00 %	Impuesto al Valor Agregado	14.94 %
Utilidad	10.00 %	Impuesto a las Transacciones	3.09 %
Mano de Obra Indirecta	0.00 %	Transporte de Materiales	0.00 %
Formato de Cálculo	10	FORMULARIO B-2	Buscar
Cargas Sociales	Definir Gastos Generales		
Porcentaje Aplicable	55.00 %	<input checked="" type="radio"/> Porcentaje Fijo	<input type="radio"/> Análisis Desglosado
Definir el Porcentaje de Beneficios Sociales Aplicable	Desglose de Gastos      Porcentaje Aplicable 10.00 %		

**Fuente:** Elaboración propia

Actividad: 1 - Instalación de faenas

Unitario: GLB

Cantidad: 1.00

Moneda: BS Tipo de Cambio 1.00

**Tabla 2.81. Precio unitario instalación de faenas**

Descripción	Und.	Cantidad	Precio unitario	Costo total
<b>1.- Materiales</b>				
Alambre de amarre	Kg	5,00	10,00	50,00
Calamina ondulada N. 28	n	28,00	32,00	896,00
Clavos	Kg	5,00	10,00	50,00
Madera de construcción	P2	68,00	4,40	299,20
<b>Total materiales</b>				<b>1295,20</b>
<b>2.- Mano de obra</b>				
Albañil	Hr.	14,00	15,00	210,00
Ayudante	Hr.	14,00	12,50	175,00
Beneficios sociales - % % del subtotal de mano de obra			55,00%	211,75
Impuesto al valor agregado - % % del subtotal de la M.O.			14,94%	89,15
<b>Total mano de obra</b>				<b>685,90</b>
<b>3.- Maq. Equipo y herramientas</b>				
		0,00	0,00	0,00
Herramientas - % % del total de la mano de obra			5,00%	34,29
<b>Total maq. Equipo y herramientas</b>				<b>34,29</b>
<b>4.- Gastos generales</b>				
Gastos generales - % de 1+2+3			10,00%	201,54
<b>Total gastos generales</b>				<b>201,54</b>
<b>5.- Utilidad</b>				
Utilidad - % % de 1+2+3+4			10,00%	221,69
<b>Total utilidad</b>				<b>221,69</b>
<b>6.- Impuestos</b>				
Impuesto a las transacciones - % % de 1+2+3+4+5			3,09%	75,35
<b>Total impuestos</b>				<b>75,35</b>
<b>Total precio unitario</b>				<b>2513,98</b>

**Fuente:** Elaboración propia, programa Quark

Costo de: Dos mil quinientos trece 99/100 Bs

**Tabla 2.82. Presupuesto general tratamiento superficial**

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	Precio unitario	Costo total
<b>01. Obras preliminares</b>					
1	Instalación de faenas	Glb	1,00	2513,99	2513,99
2	Limpieza de terreno	Ha	8,46	10010,46	84688,48
3	Replanteo y control topográfico	km	8,46	1861,21	15745,87
4	Provisión y colocado de letrero de obra 3 x 2 banner	Pza	1,00	1136,58	1136,58
<b>Subtotal obras preliminares</b>					<b>104084,92</b>
<b>02. Movimiento de tierras</b>					
5	Excavación con maquinaria	m <sup>3</sup>	134091,63	30,50	4089660,62
6	Construcción de terraplenes	m <sup>3</sup>	132882,51	25,94	3446839,43
<b>Subtotal movimiento de tierras</b>					<b>7536500,05</b>
<b>03. Conformación paquete estructural</b>					
7	Conformación capa base	m <sup>3</sup>	8880,06	75,39	669441,08
8	Imprimación bituminosa	m <sup>2</sup>	50743,20	9,42	478203,92
9	Tratamiento superficial doble	m <sup>2</sup>	42286,00	4,40	185973,83
<b>Subtotal conformación paquete estructural</b>					<b>1333618,83</b>
<b>04. Obras de arte menor</b>					
10	Replanteo y control de obras de arte menor	Pza	8,00	78,60	628,78
11	Excavación no clasificada c/maq p/oras de arte	m <sup>3</sup>	108,00	16,91	1.825,96
12	Excavación manual p/cunetas revestidas	m <sup>3</sup>	628,57	79,92	50.235,31
13	Cama de arena	m <sup>3</sup>	7,20	108,16	778,73
14	Hormigón ciclópeo para obras de arte menor 50% pd	m <sup>3</sup>	63,71	617,93	39368,26
15	Prov. Y colocado de tubería ARMCOD (d=1m)	ml	48,00	1733,81	83222,83
16	Relleno común y compactado	m <sup>3</sup>	24,00	64,96	1559,02
17	Cuneta de piedra con revestimiento	ml	9297,23	139,98	1301426,26
<b>Subtotal obras de arte menor</b>					<b>1479045,15</b>
<b>05. Señalización</b>					
18	Demarcación del pavimento horizontal	ml	16914,40	9,62	162699,61
<b>Subtotal señalización</b>					<b>162699,61</b>
<b>06. Entrega de obra</b>					
19	Limpieza y retiro de escombros	Glb	1,00	5110,33	5110,33
20	Placa de entrega de obra	Pza	1,00	673,32	673,32
<b>Subtotal entrega de obra</b>					<b>5783,65</b>
<b>Costo total del proyecto</b>					<b>10621732,21</b>

**Fuente:** Elaboración propia, programa Quark

Costo total: 10621732,21 (Diez millones seiscientos veinte un mil setecientos treinta y dos 21/100 Bs).

**Tabla 2.83. Presupuesto general plataforma de rizado**

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	Precio unitario	Costo total
<b>01. Obras preliminares</b>					
1	Instalación de faenas	Glb	1,00	2513,99	2513,99
2	Limpieza de terreno	Ha	8,46	10010,46	84688,48
3	Replanteo y control topográfico	Km	8,46	1861,21	15745,87
4	Provisión y colocado de letrero de obra 3 x 2 banner	Pza	1,00	1136,58	1136,58
<b>Subtotal obras preliminares</b>					<b>104084,92</b>
<b>02. Movimiento de tierras</b>					
5	Excavación con maquinaria	m <sup>3</sup>	134091,63	30,50	4089660,62
6	Construcción de terraplenes	m <sup>3</sup>	132882,51	23,76	3156756,91
<b>Subtotal movimiento de tierras</b>					<b>7.246.417,53</b>
<b>03. Conformación paquete estructural</b>					
7	Rizado de plataforma	m <sup>3</sup>	8880,06	53,89	478519,79
<b>Subtotal conformación paquete estructural</b>					<b>478519,79</b>
<b>04. Obras de arte menor</b>					
8	Replanteo y control de obras de arte menor	Pza	8,00	78,60	628,78
9	Excavación no clasificada c/maq p/oras de arte	m <sup>3</sup>	108,00	16,91	1825,96
10	Excavación manual p/cunetas revestidas	m <sup>3</sup>	628,57	79,92	50235,31
11	Cama de arena	m <sup>3</sup>	7,20	108,16	778,73
12	Hormigón ciclópeo para obras de arte menor 50% pd	m <sup>3</sup>	63,71	617,93	39368,26
13	Prov. Y colocado de tubería ARMCOD (d=1m)	ml	48,00	1733,81	83222,83
14	Relleno común y compactado	m <sup>3</sup>	24,00	64,96	1559,02
15	Cuneta sin revestimiento	ml	9297,23	47,19	438708,39
<b>Subtotal obras de arte menor</b>					<b>616327,28</b>
<b>05. Entrega de obra</b>					
16	Limpieza y retiro de escombros	Glb	1,00	5110,33	5110,33
17	Placa de entrega de obra	Pza	1,00	673,32	673,32
<b>Subtotal entrega de obra</b>					<b>5783,65</b>
<b>Costo total del proyecto</b>					<b>8451133,17</b>

**Fuente:** Elaboración propia, programa Quark

Costo total: 8451133,17 (Ocho millones cuatrocientos cincuenta y un mil ciento treinta y tres 17/100 Bs).

El cálculo del precio unitario que muestra el detalle de los materiales, mano de obra y equipo necesario para realizar las diferentes actividades que se desarrollan en la construcción del camino se lo puede revisar en el ANEXO XII (análisis de precios unitarios y presupuesto general).

### **2.6.3. Especificaciones técnicas**

Define cómo ejecutar cada ítem, el material, herramientas y el equipo a utilizar, la unidad de medición y por último la forma de pago (Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), 2011).

Las especificaciones técnicas para el diseño de ingeniería apertura del tramo vial Río Grande – Yerba Buena, se desglosa en el anexo correspondiente al ANEXO XIII (especificaciones técnicas).

## **2.7. Impacto ambiental**

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.

### **2.7.1. Ficha ambiental (FA)**

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,

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, 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.

La ficha ambiental se encuentra detallada en el ANEXO XIV (impacto ambiental).

## **2.8. Cronograma de obra**

La elaboración de este plan depende primeramente del cronograma físico - financiero de la obra. En función de la disponibilidad de tiempo, del porcentaje de días trabajables y de la disponibilidad de los servicios, se dimensionará el personal, el equipo, material, niveles de producción a alcanzar por unidad de tiempo y los flujos de materiales a lo largo de los periodos de aplicación.

El detalle de la planificación se encuentra en el ANEXO XV (cronograma de obra)



## **2.9. Planos del diseño**

Estos planos muestran detalladamente el diseño de vista en planta, vista en perfil, sección transversal y el diseño de las obras de arte menor como ser: alcantarillas de alivio, cunetas. El detalle de los planos se encuentra en el ANEXO XVI (planos del diseño).

**CAPÍTULO III**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO III

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1. Conclusiones

- Se realizó el levantamiento topográfico por medio de una estación total siguiendo las recomendaciones correspondientes para un levantamiento.
- Se realizó el diseño geométrico a partir del levantamiento topográfico, diseño del alineamiento vertical y el diseño del alineamiento horizontal.
- A partir de la información obtenida del SENAMHI, de las estaciones pluviométricas de Cañas, La Merced y Padcaya, se elaboró el estudio hidrológico para determinar intensidades máximas y así poder obtener los caudales de diseño en las alcantarillas de alivio y las cunetas. Con intensidades de:

Para un periodo de 25 años (alcantarillas):  $I = 42,851 \cdot t^{-0,652}$

Para un periodo de 5 años (cunetas):  $I = 29,748 \cdot t^{-0,652}$

- Se realizó 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 el A-4 y en algunos sectores se encuentra A-6. Con todos estos tipos de suelos se realizaron los ensayos correspondientes para la determinación del CBR de la subrasante.
- En base a la realización de aforos vehiculares correspondientes al tramo en estudio se observó y se determinó que en la zona existe un bajo movimiento vehicular, donde la proporción de vehículos livianos es la más significativa en comparación a buses y camiones.

Para el conteo realizado en ambas direcciones es:  $TPD = 60,00$  veh/día.

El tráfico promedio diario anual de diseño:  $TPDA$  diseño = 246 Veh/día.

- Se diseñó el camino del tramo longitudinal de 8,46 km, una velocidad establecida desde los 25 km/h, el radio mínimo de acuerdo a su velocidad de diseño desde los 17,00 m y con las pendientes establecidas entre el 10 – 12% y una pendiente mínima de 0,95%, pero en la progresiva 4 + 795 – 4 + 980 se trabajó con una pendiente que oscila entre el 20%, esto debido a las condiciones críticas de la zona

del proyecto, también por el tema socioeconómico y la baja fluidez de vehículos y de esta manera evitar que exista un exceso de corte.

- Se diseñó el sistema de drenaje, el cálculo hidráulico y el dimensionamiento de cunetas a lo largo del trazo de la carretera, obras de arte: 8 Alcantarillas de alivio.
- La alternativa A, consiste en el diseño del paquete estructural de tratamiento superficial, en base al método “ASSHTO - 93”, se obtiene una base de agregados de 21,00 cm y una carpeta de rodadura 3,00 cm.
- La alternativa B, consiste en el suministro de una capa de ripio a lo largo del trazo del camino, de un espesor de 21 cm.
- Se procedió a un análisis de precios unitarios y su respectivo presupuesto general de las dos alternativas:
  - Alternativa A = Tratamiento superficial costo total: 10621732,21 (Diez millones seiscientos veinte un mil setecientos treinta y dos 21/100 Bs)
  - Alternativa B = Ripiado de plataforma costo total: 8451133,17 (Ocho millones cuatrocientos cincuenta y un mil ciento treinta y tres 17/100 Bs)
- A partir del análisis de las dos alternativas, desde el punto de vista económico y social, considerando que se trata de un camino de desarrollo, se optó por seleccionar como solución para el proyecto la Alternativa B.
- Se elaboró planos a detalle: Vista en planta, perfil longitudinal, secciones transversales, ubicación de obras de arte y el detalle de las mismas.
- Si existe una relación entre el volumen de corte y relleno a pesar de ser una zona montañosa, es necesario realizar un gran movimiento de tierras (corte), con la finalidad de cumplir con las pendientes máximas establecidas.

### **3.2. Recomendaciones**

Con las conclusiones anteriormente planteadas, se emiten las siguientes recomendaciones:

- Se debe apoyar e incentivar a las comunidades en la agricultura donde el nivel de ventas de los productos sea mayor para cumplir el objeto de elevar el nivel de ingresos económicos.
- Se recomienda buscar la información bibliográfica necesaria antes de efectuar el diseño de cualquier proyecto.

- Al momento de realizar el levantamiento topográfico, se debe ajustar la poligonal, efectuar el levantamiento de eje preliminar y los puntos auxiliares.
- Al realizar el estudio de suelos, tener en cuenta que la muestra tomada debe ser representativa del terreno y llevarla al laboratorio tratando que no pierda su humedad para así al desarrollar los ensayos, no cometer errores y tener datos confiables.
- Recomendamos que, para todo diseño de ingeniería, los datos obtenidos en laboratorio, datos de instituciones como SENAMI y otros, deben presentarse en forma clara y precisa en las planillas de cálculo realizadas.
- En el diseño geométrico, se deben tener en cuenta todos los parámetros básicos de acuerdo a la categoría de camino y tipo de terreno.
- Analizar alternativas del trazo, desde un punto de vista económico y social para posteriormente elegir la más adecuada.
- Se recomienda realizar un mantenimiento de camino en forma permanente, para que el camino sea transitado todo el año.
- Las especificaciones técnicas de construcción deben ser aplicadas en los diferentes ítems de construcción, para establecer los parámetros de los materiales a utilizar.
- Finalmente debido a que se consideró en algunas progresivas pendientes que no están dentro de la norma por el tema económico y la baja fluidez de vehículos, se recomienda a futuro en base a un método de tráfico o proyección futura, se pueda mejorar estas pendientes.