

## **1.1.GENERALIDADES**

La ingeniería de caminos es una ciencia y un arte puesto que una carretera debe estar bien proyectada, tiene que poseer tanta armonía interna como externa, es decir, que los automovilistas deben de tener una visión clara del paisaje y principalmente transitar en una forma segura y expedita.

La carretera es en primer lugar un medio de transporte que se debe construir para resistir y permitir en forma adecuada el paso de vehículos, para lograr este objetivo, el diseño debe adoptar ciertos criterios de resistencia y uniformidad.

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. Los condicionantes para situar una carretera sobre la superficie son muchos, entre ellos la topografía del terreno, la geología, el medio ambiente, la hidrología o factores sociales y urbanísticos.

Existen en la ingeniería de carreteras métodos en donde se han establecido formulas, las cuales están sujetas a interpretaciones y criterios ya que las carreteras están ligadas íntimamente con la superficie terrestre la cual raras veces se puede adaptar a conceptos matemáticos.

Los caminos vecinales, para muchas comunidades son de vital importancia, ya que viene a constituirse en el medio más importante para el desarrollo e integración de las mismas. Con la existencia de caminos vecinales los productores podrán comercializar su producción excedentaria a los diferentes mercados de abasto, y de esta manera, incrementar sus ingresos económicos por la venta de sus productos.

La actividad agropecuaria en las comunidades rurales, sin duda, es primordial en sus ingresos económicos, sin embargo, la actividad agrícola actual es baja, debido a la falta de comercialización de sus productos, por no contar con vías de comunicación cómodas hacia las ciudades, que permitan llegar con sus productos a los mercados de consumo, para su venta.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Con la finalidad de obtener un conocimiento en cuanto al diseño geométrico acorde a la dinámica de crecimiento de las localidades de nuestro departamento, en el marco del Desarrollo Vial, Urbano, Humano y Profesional, y ante la inexistencia de este tipo de información, se procedió a realizar la elaboración del proyecto a Diseño Final de Ingeniería en el tramo Guayabillas – El Baizal.

De esta manera, con la implementación del presente proyecto se pretende mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona, a través de la accesibilidad en cualquier época del año y lograr un incremento en la producción agrícola lo cual se reflejará en sus ingresos económicos.

Al mismo tiempo al no tener un buen acceso es más difícil llegar hasta la comunidad con otros servicios sean estos de salud, de infraestructura básica o mejorar el servicio de salud existente, de ahí que se plantea el Diseño Final de Ingeniería en dicho tramo que será presentado a la Gobernación Seccional de la provincia Arce, Municipio de Padcaya para que disponga como una información de antemano que posteriormente se pueda ampliar y en un corto plazo se pueda ejecutar.

Gran parte de la zona en estudio presenta condiciones naturales favorables en cuanto a clima, suelo y agua, para la explotación agrícola; sin embargo, la economía de las familias depende en general de la agricultura, existe la producción, pero por falta de Proyectos referentes a caminos cómodos transitables durante todo el año, imposibilita la comercialización de los productos, lo que delimita a los productores, por estas razones la necesidad de realizar el diseño final de ingeniería dicho tramo para su futura ejecución.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar el diseño final de ingeniería aplicado al tramo **Guayabillas – El Baizal**, de acuerdo a las exigencias y demandas actuales del área de influencia del proyecto, tomando en cuenta la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Entre los objetivos específicos mencionaremos a los siguientes:

- Efectuar un levantamiento topográfico correspondiente con el fin de obtener las coordenadas y elevaciones del terreno y por ende las curvas de nivel, plasmadas en un plano.
- Ejecutar el estudio de suelos con la finalidad de conocer el tipo de suelo a tratar, sus características y propiedades, como ser: análisis granulométrico, límites de Atterberg, clasificación de suelos, compactación y el ensayo de California Bearing Ratio (CBR).
- Componer un estudio Hidrológico con información de estaciones pluviométricas del SENNAMHI.
- Materializar el Diseño Geométrico, basada en la topografía del terreno y velocidad, que contempla tanto el Diseño planímetro (trazado, curvas horizontales, peraltes, etc.) y Diseño altimétrico (pendientes, curvas verticales, sección transversal, etc.).
- Elaborar el cálculo del movimiento de tierras para lo cual se tendrá que efectuar un cálculo de volúmenes tanto de corte como de relleno y que se representara en el diagrama de masas.

- Diseñar el Sistema de Drenaje, para el diseño de estas obras es necesario contar con la topografía del sector, estudios de suelos, la hidrología, etc. Las obras que cumplen esta función son las alcantarillas, las zanjas, cunetas y desagües pluviales, etc.
- Calcular el posible tráfico que circulara por la carretera, a partir del flujo vehicular existente entre las zonas de Cachimayo y San Francisco Chico.
- Diseñar el Paquete Estructural del Pavimento, en base a la Metodología Aashto.
- Elaborar el Presupuesto económico, consiste en realizar el costo del proyecto mediante los cálculos métricos y precios unitarios para cada ítem de la carretera donde se toma en cuenta materiales, mano de obra, maquinaria, utilidad, etc.
- Preparar planos, como por ejemplo plano de planta con eje, Plano de Perfil longitudinal, Plano de transversales, obras de drenajes, etc. todo esto mediante programas computacionales como el LAND CAD, AUTO CAD, etc.

#### **1.4. ALCANCE**

Las actividades que permiten llegar al Diseño Final de ingeniería tramo “**GUAYABILLAS – EL BAIZAL**”, son en resumen, el reconocimiento del área del proyecto, los estudios topográficos que involucrarán todo el acceso desde su inicio hasta el final del tramo, un estudio geotécnico a nivel general, estudio hidrológico que afecta a la cuenca en la que se encuentra el área de influencia del proyecto son también de mucha importancia debido a la escorrentía que genera para diseñar el sistema de drenaje superficial que incluye cunetas, alcantarillas y otros, se realizó el diseño geométrico tanto planimétrico y altimétrico de la carretera, un

estudio de tráfico, el proyecto igualmente contiene el diseño del paquete estructural del pavimento como así también los costos y presupuesto que conlleva el mismo.

El capítulo inicial contempla las razones, antecedentes y justificaciones del planteamiento del proyecto de desarrollo socioeconómico, a través del diseño final de ingeniería del tramo **GUAYABILLAS – EL BAIZAL**, perteneciente al municipio de Padcaya de la Provincia Arce.

Cuya ejecución de dicho proyecto permite mejorar las condiciones de vida de los beneficiarios, reducir costos de transporte e incrementar la comercialización de productos agrícolas y agropecuarios, hacia los centros de abasto y de consumo masivo.

El capítulo de ingeniería del proyecto es la parte fundamental de este proyecto: se recopilan datos de campo como también se generan parámetros de diseño de acuerdo a las normas y manuales de nuestro país, esto está fundamentado y respaldado por la teoría que caracteriza cada concepto fundamental.

En los anexos se muestra a detalle la topografía del tramo tanto el trabajo de campo como el trabajo de gabinete, luego con la información obtenida se realiza el diseño geométrico establecido para este tipo de camino.

Se trabaja en la planimetría y altimetría, tomando en cuenta los parámetros de diseño, posteriormente se realiza el computo volumétrico con lo que corresponde al movimiento de tierras calculando el área y el volumen, más su diagrama de masa respectivo.

El estudio de suelo se ejecuta para identificar con que suelo trataremos a lo largo de la apertura de camino por medio de varias prácticas en el laboratorio, se aplican los resultados de los diferentes ensayos del suelo en un mejoramiento de la subrasante, si es necesario, también para el dimensionamiento del paquete estructural, entre otros.

El estudio hidrológico con información de estaciones pluviométricas del SENNAMHI, muy cercanas al área de influencia del proyecto, a través de un método adecuado y previo análisis pluviométrico se obtiene las precipitaciones de diseño para dimensionar las obras de drenaje.

Se realiza el cálculo respectivo de tráfico, se elabora el diseño del paquete estructural de la vía, para tal efecto se recopilan todos los datos necesarios de campo para su posterior procesamiento.

Tomando en cuenta los volúmenes de cada actividad, se procede al cálculo de los precios unitarios y del presupuesto general, es decir, el costo que tendrá la carretera en toda su magnitud con los precios actuales en el mercado y la elaboración de las especificaciones técnicas para cada uno de sus componentes.

En conclusiones y recomendaciones se mencionan todos los posibles inconvenientes encontrados en el lapso y desarrollo del diseño del proyecto, para su posterior recomendación, así se deduce si logramos cumplir con los propositos establecidos.

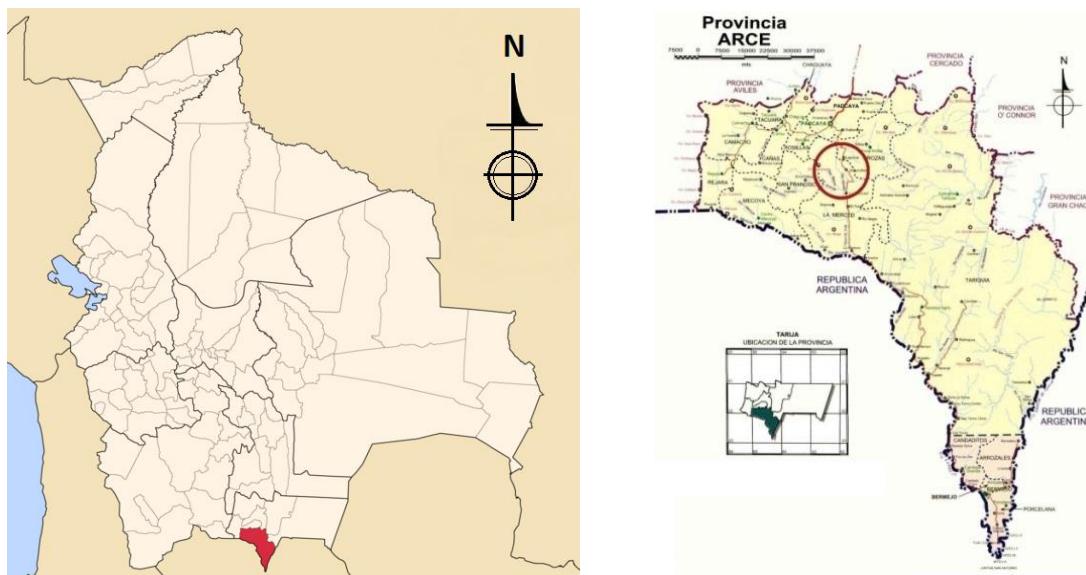
## 2.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA Y LOCALIZACION DEL PROYECTO

La Primera Sección de la Provincia Arce está ubicada entre los paralelos: 22° 35' 51'' y 21° 46' 08'' de latitud sur; y entre los meridianos: 65° 05' 35'' y 64° 04' 39'' de longitud oeste.

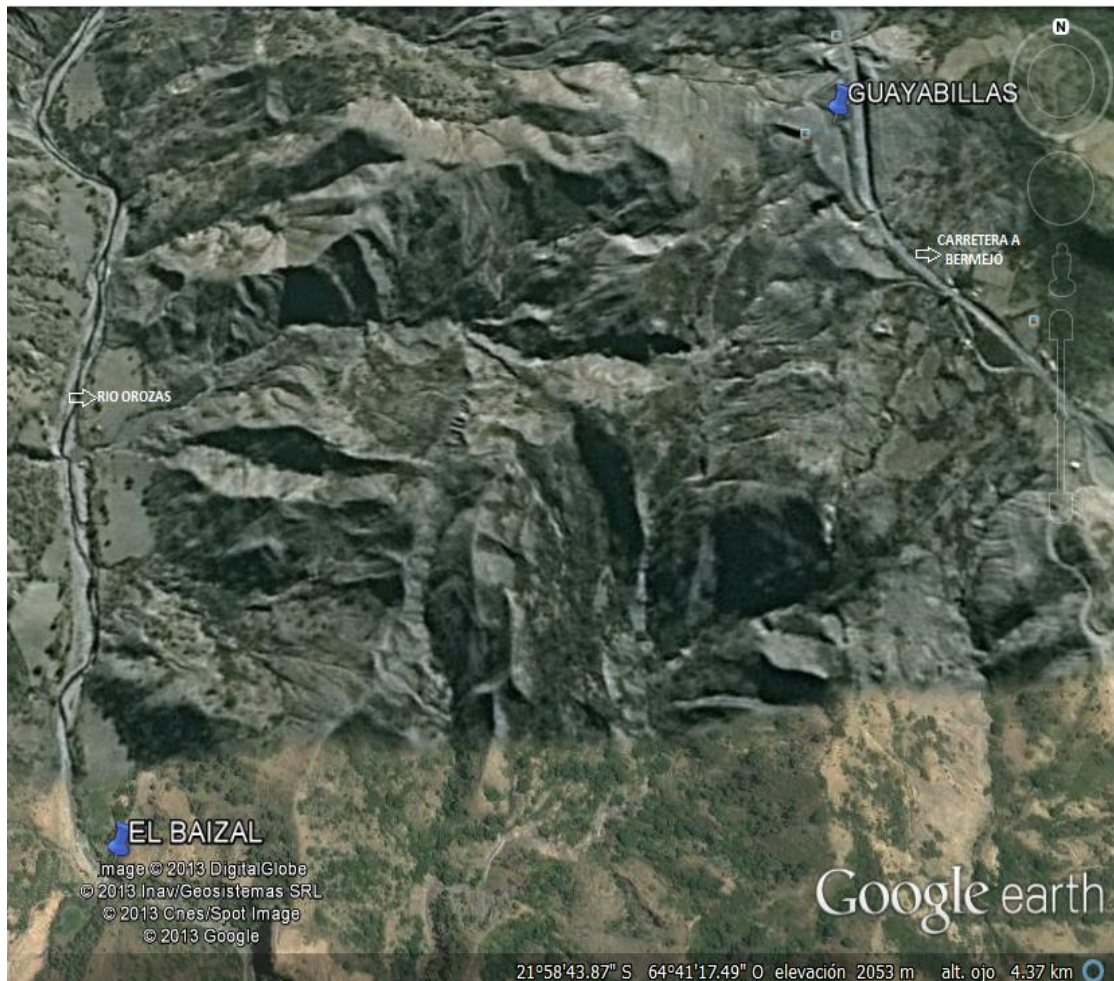
Padcaya, Capital de la Provincia, limita al norte con la Provincia Avilés, al sur con el Municipio de Bermejo (Segunda Sección de la Provincia Arce) y la República Argentina, al Este con las Provincias O'Connor y Gran Chaco y al Oeste con la Provincia Avilés.

Las comunidades beneficiadas (Guayabillas y El Baizal) se encuentran ubicadas en el Distrito 6 de la Primera Sección de la Provincia Arce, limita al Norte con el Distrito 7 y Distrito 2, al Sur con el Distrito 13, al Este con el Distrito 7 y Distrito 8 y al Oeste con el Distrito 5.

**Figura N° 1: Mapa de Ubicación**



**Figura N° 2: Imagen Satelital**



Fuente: Google Earth

## **2.2. ANALISIS DE ALTERNATIVAS**

### **2.2.1. Antecedentes**

En la actualidad, en el tramo de Guayabillas – El Baizal, no cuenta con un camino apto para el tránsito vehicular, por lo que es necesario la apertura de la carretera, a lo largo del recorrido se puede evidenciar que existe una serie de quebradas por lo que será imprescindible la ejecución de obras de arte menor.

La distancia entre las comunidades en estudio, tiene una longitud aproximada de 4.6 Km.

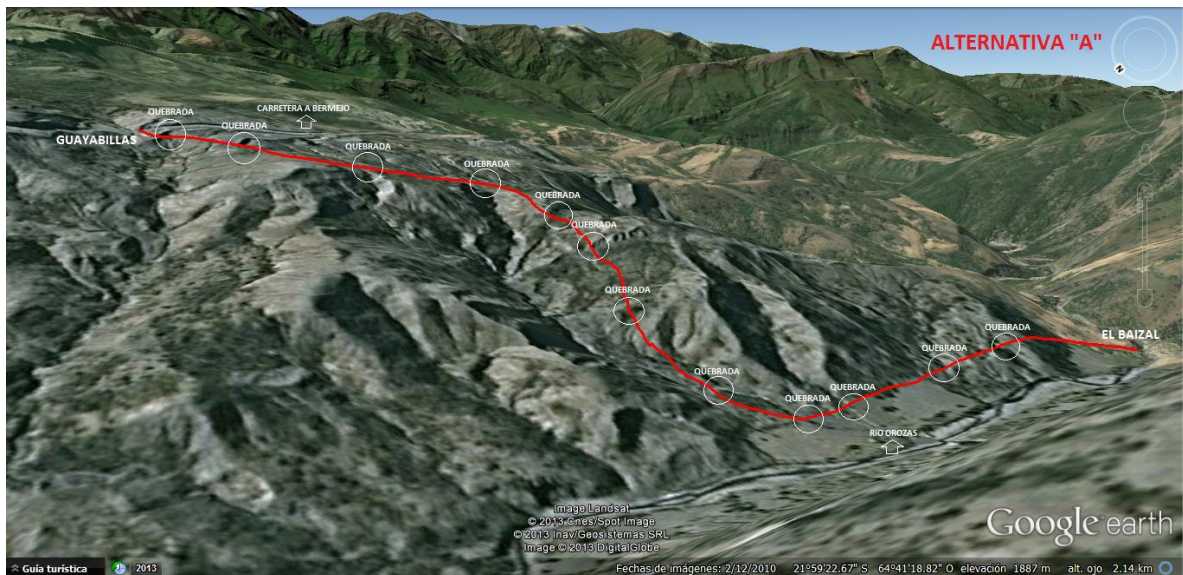
## 2.2.2. Alternativas Técnicas del Proyecto

### 2.2.2.1. Alternativas de Trazado Geométrico

#### 2.2.2.1.1. Alternativa A

En la actualidad la zona del proyecto cuenta con un senda apta solamente para el tránsito de los comunarios, dicha senda se extiende en un terreno extremadamente montañoso con pendientes elevadas, y terreno parcialmente rocoso y compacto; según el recorrido realizado a lo largo de las comunidades en estudio, a continuación las características.

#### - Cruces de Agua o Quebradas:



Fuente: Google Earth

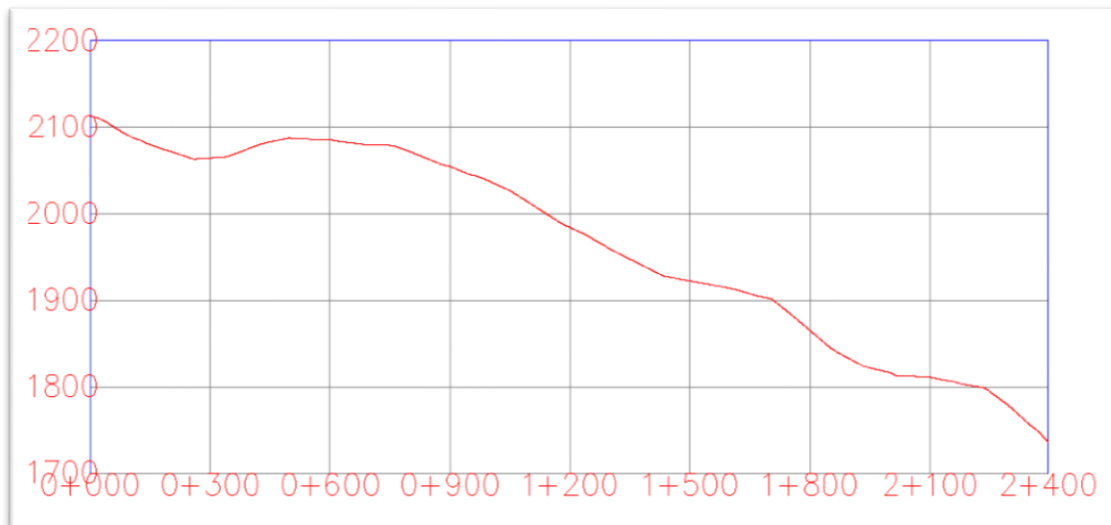
Número de Cruces de Agua: 1

- **Depresiones de las Cordilleras:**

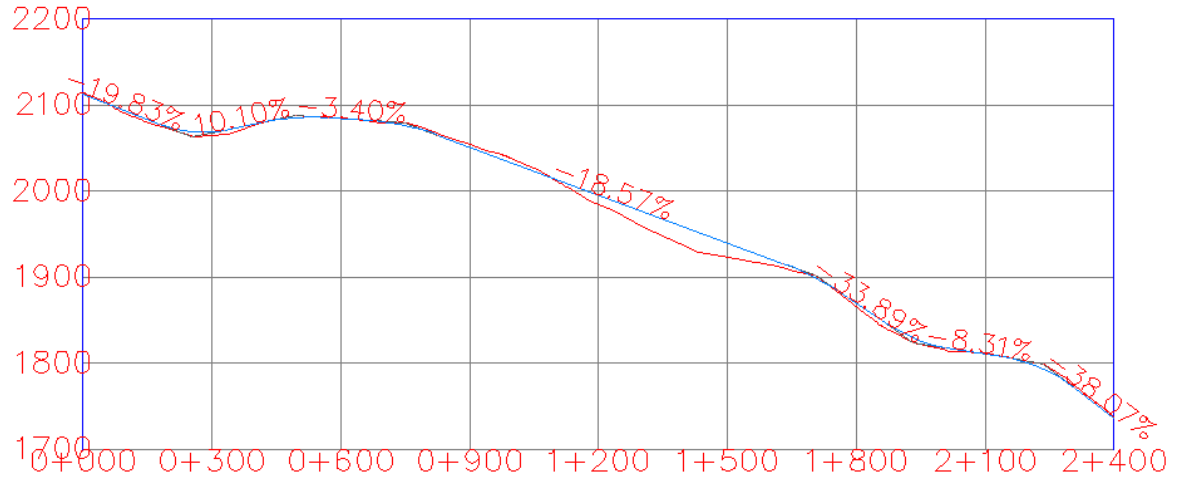


Fuente: Google Earth

- **Perfil Longitudinal**

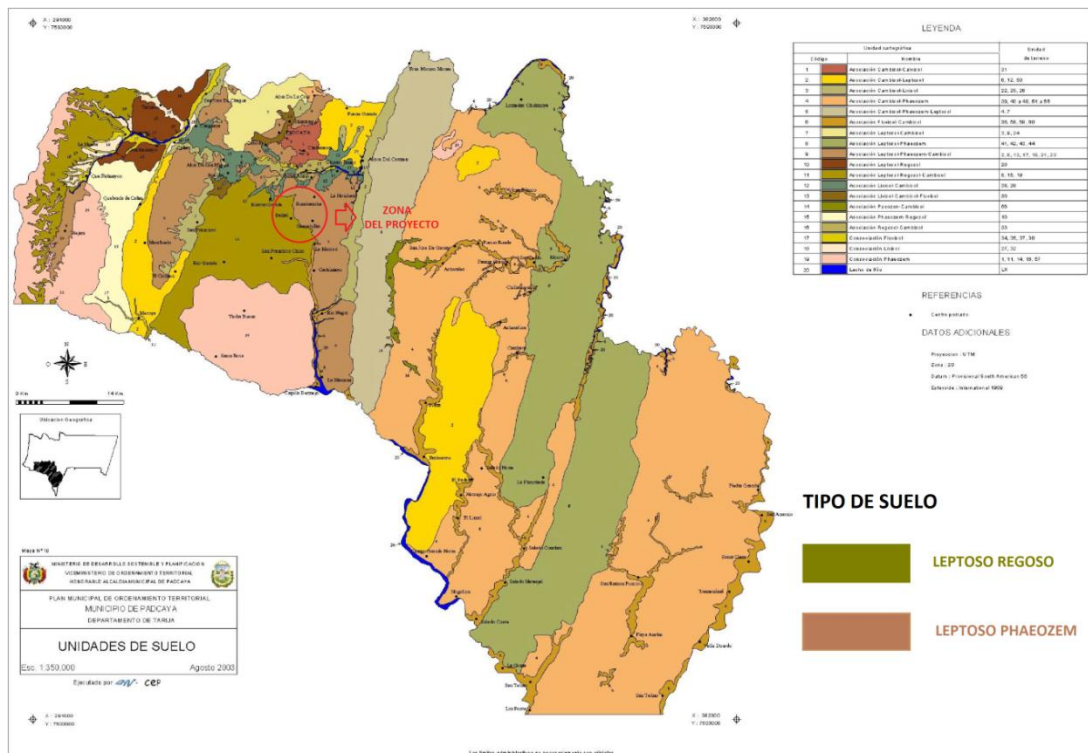


- **Pendientes Longitudinales**



Pendientes longitudinales elevadas, oscilan entre 3,40% y 38,07%, la mínima y la máxima respectivamente, que se presentan a lo largo del trazo en la alternativa “A”.

- **Geología del Terreno:**



Fuente: Ordenamiento Territorial Prov. Arce

La zona del proyecto atraviesa dos tipos de suelo:

- Suelo Leptoso Regoso
- Suelo Leptoso Phaeozem

**Suelo Leptoso Regoso.-** Los regosales se desarrollan sobre materiales no consolidados, alterados y de textura fina.

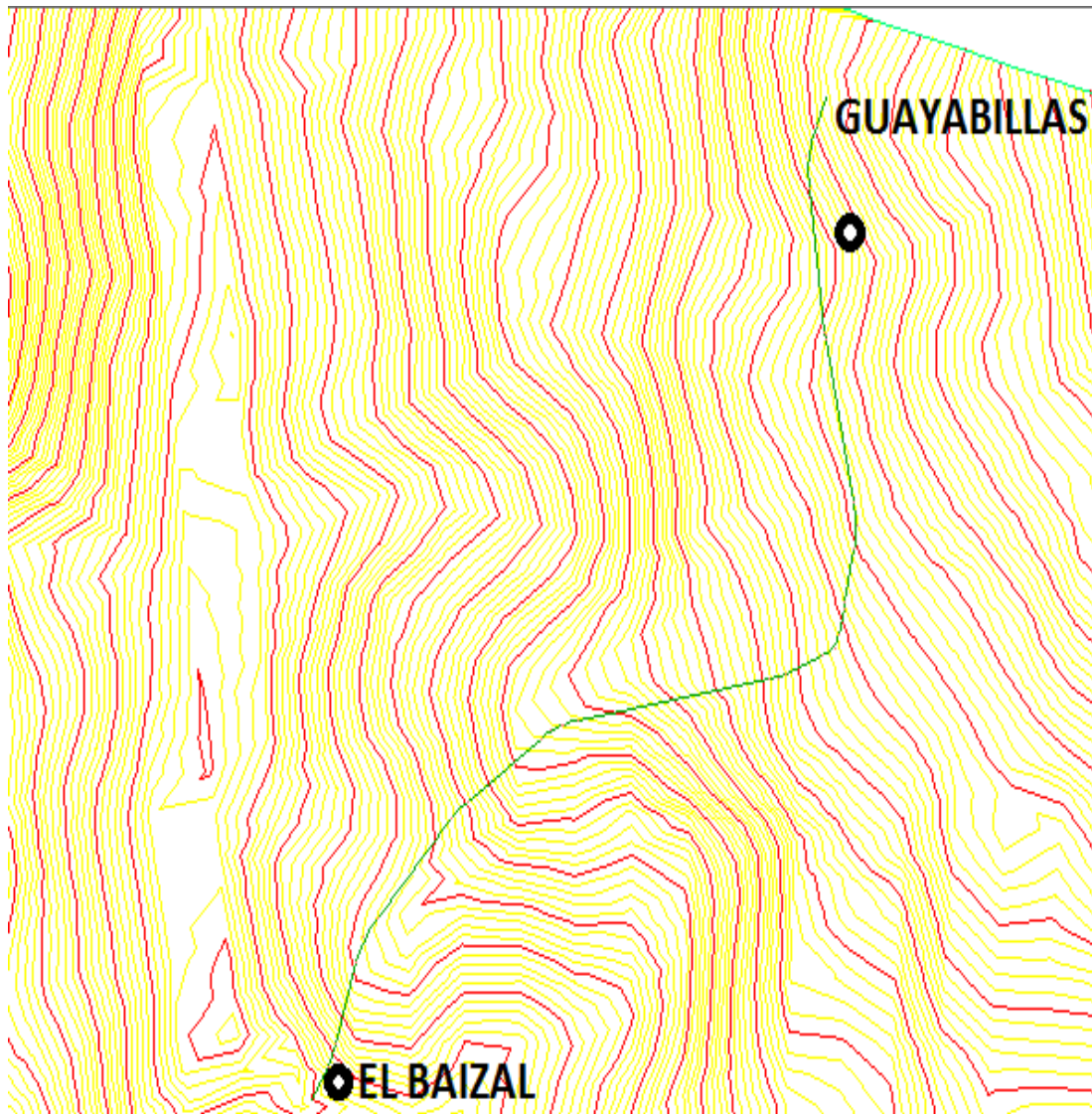
**Suelo Leptoso Phaeozem.-** Los leptosoles phaeozems son suelos minerales de zonas con clima suficientemente templado para que la temperatura media anual supere los 0°C. Están limitados por una roca continua y dura.



Fuente: Ordenamiento Territorial Prov. Arce

- El trazo se extiende por terreno no consolidado.
- No se garantiza la estabilidad previo movimiento de tierras.

- **Trazado Horizontal**



- Atraviesa montañas de forma brusca y no permite el suavizado de pendientes.
- Trazado horizontal relativamente recto.
- Longitud tramo 2463,15 m.

- **Criterio Pendiente, Longitud, Desnivel**

El proyecto está contemplado entre los caminos de desarrollo, para lo cual se establece un rango de pendiente entre 10 y 12% como máximo.

Según el criterio se calcula la pendiente, a partir del desnivel y la longitud del tramo para las diferentes alternativas, a través de la siguiente formula:

$$Pendiente = \frac{Desnivel}{Longitud} * 100$$

Desnivel = 455 m.

Longitud = 2463 m.

$$Pendiente = 18,47\%$$

No se encuentra dentro del rango establecido.

En resumen:

- Existen cruces desfavorables de corrientes de agua.
- Depresiones de las cordilleras.
- Pendientes longitudinales elevadas y continuas.
- Pendientes longitudinales y transversales predominantes.
- Características geológicas inestables, existe también presencia de roca.
- Desde el punto de vista del alineamiento horizontal, no se puede arrojar un trazado suave debido a que la senda existente atraviesa pendientes extremadamente elevadas.
- Analizando el desnivel y la distancia que permite enlazar los dos puntos obligados, la pendiente longitudinal no se encuentra dentro del rango instituido para el tipo de carretera seleccionado.
- El tramo es más corto en relación al propuesto en la Alternativa B.

- **Informe Fotográfico:**





### 2.2.2.1.2. Alternativa B

A través de imágenes satelitales y cartas geográficas se procedió a realizar el trazo del camino, evitando en lo posible pasos de quebrada, y desniveles, a continuación las características:

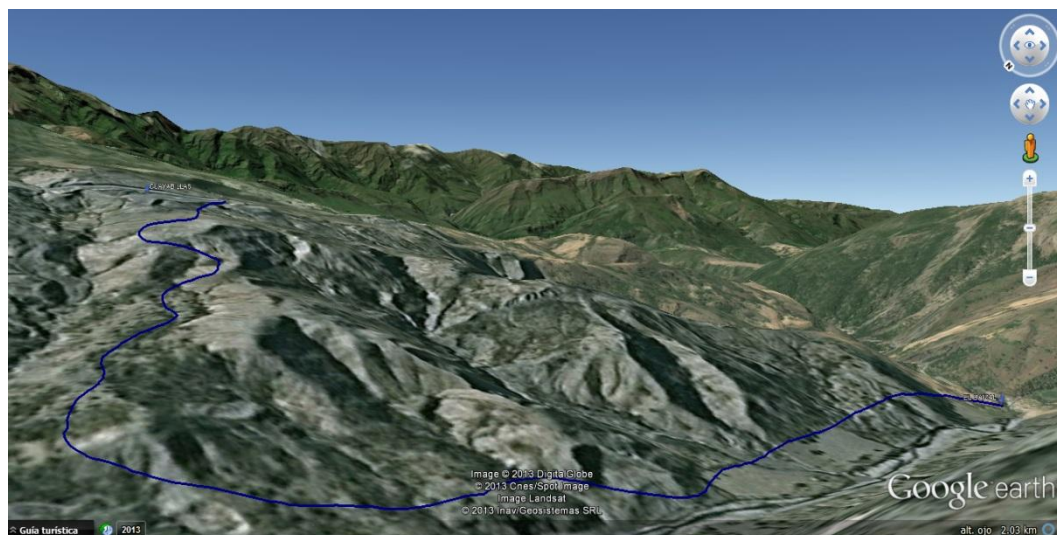
- **Cruces de Agua o Quebradas:**



Fuente: Google Earth

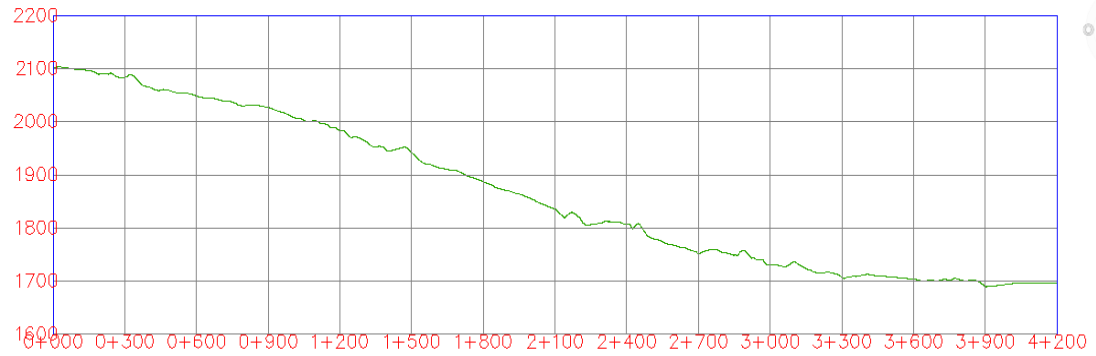
Número de Cruces de Agua: 6

- **Depresiones de las Cordilleras**

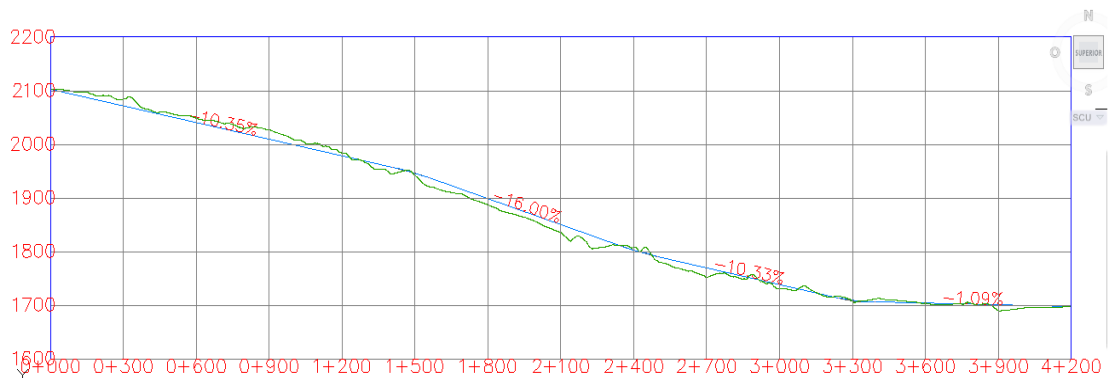


Fuente: Google Earth

### - Perfil Longitudinal

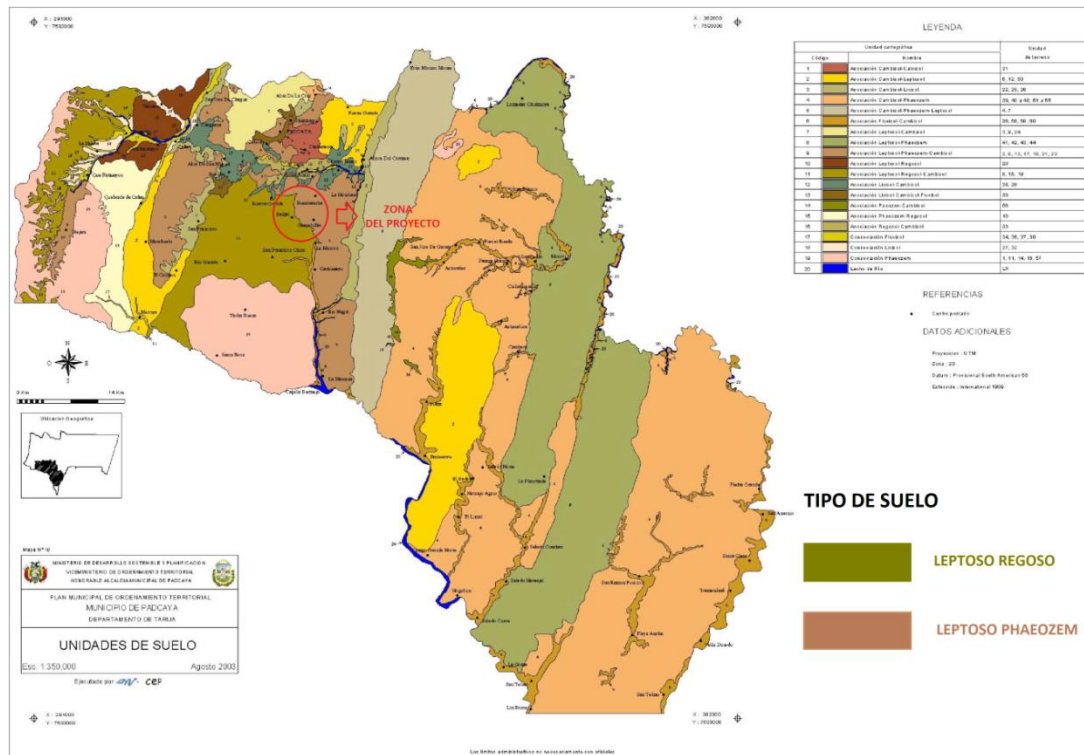


### - Pendientes Longitudinales



Terreno menos ondulado, pendientes comprendidas entre 1% y 16%, longitudinalmente se puede arrojar un trazado de la carretera más suave.

- **Geología del Terreno:**



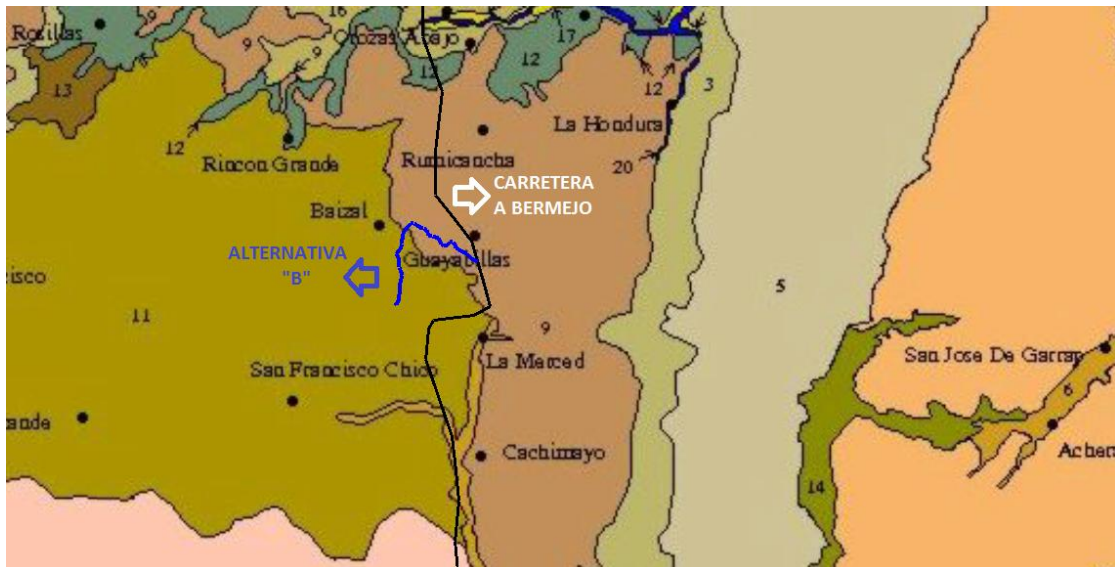
Fuente: Ordenamiento Territorial Prov. Arce

La zona del proyecto atraviesa dos tipos de suelo:

- Suelo Leptoso Regoso
- Suelo Leptoso Phaeozem

**Suelo Leptoso Regoso.-** Los regosales se desarrollan sobre materiales no consolidados, alterados y de textura fina.

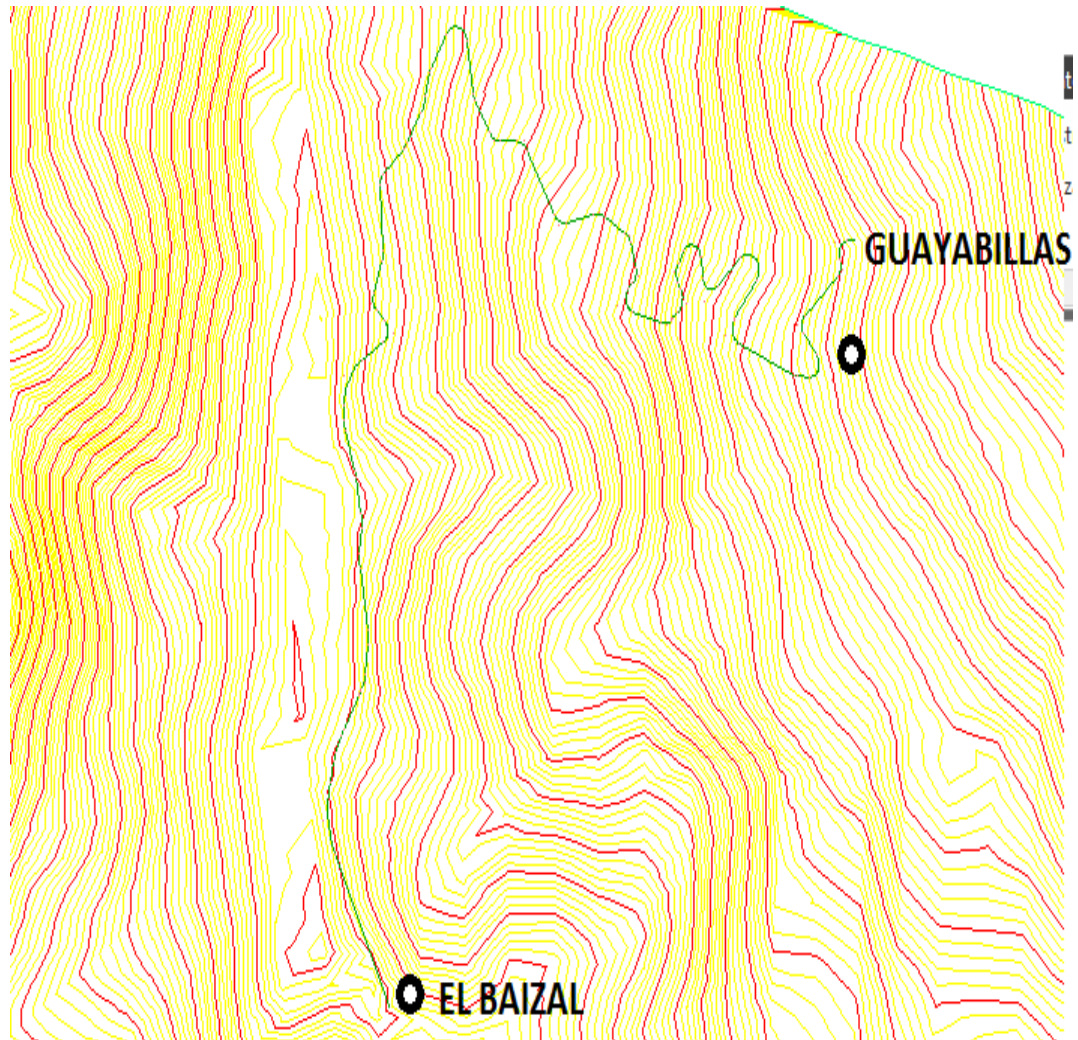
**Suelo Leptoso Phaeozem.-** Los leptosoles phaeozems son suelos minerales de zonas con clima suficientemente templado para que la temperatura media anual supere los 0°C. Están limitados por una roca continua y dura.



Fuente: Ordenamiento Territorial Prov. Arce

- En su mayoría el suelo está limitado por roca continua y dura
- Estabilidad garantizada, previo al movimiento de tierras.

- **Trazado Horizontal**



- A través de curvas se hace posible el paso de montañas y suavizado de pendientes.
- El trazado horizontal presenta una serie de curvas.
- Longitud de tramo 4269 m.

- **Criterio Pendiente, Longitud, Desnivel:**

El proyecto está contemplado entre los caminos de desarrollo, para lo cual se establece un rango de pendiente entre 10 y 12% como máximo.

Según el criterio se calcula la pendiente, a partir del desnivel y la longitud del tramo para las diferentes alternativas, a través de la siguiente formula:

$$Pendiente = \frac{Desnivel}{Longitud} * 100$$

Desnivel = 455 m.

Longitud = 4269 m.

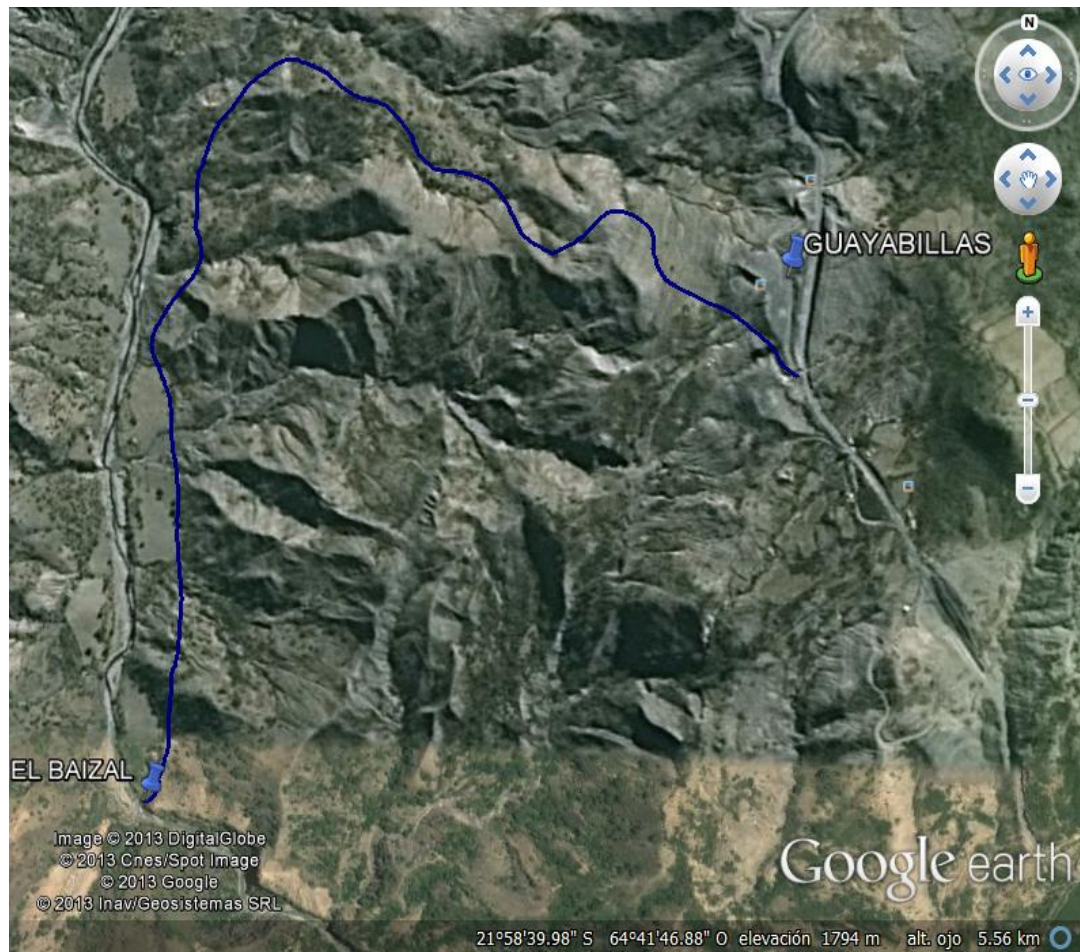
$$Pendiente = 10,66\%$$

Cumple con el rango de pendiente máxima instaurada.

En resumen:

- No existen cruces de agua significativos.
- Las depresiones de las cordilleras son menores.
- Pendientes longitudinales variables.
- Características geológicas generalmente estables, no existe presencia de roca.
- El tramo permite arrojar un trazado más suave, la zona por donde atravesaría la carretera presenta pendientes poco inclinadas, desde el punto de vista del alineamiento horizontal.
- Al tratarse de una zona menos montañosa y con pendientes más suaves, los volúmenes de corte y relleno, para lograr la pendiente instituida, serán menores en relación a los de la alternativa A
- Analizando el desnivel entre los puntos obligados y la distancia por donde se pretende trazar la carretera, la pendiente está dentro del rango mínimo implantado.
- La distancia del tramo es mayor al expuesto en la alternativa A.

- **Imagen Satelital Alternativa “B”**



Fuente: Google Earth

### **2.2.2.2. Alternativas Estructurales**

Realizada la apertura del camino vecinal, a continuación se procede al análisis de las siguientes alternativas estructurales

#### **2.2.2.2.1. Alternativa A: Pavimento Flexible**

Recubrimiento de la superficie con una capa de Concreto Asfáltica la cual es colocada sobre una capa base y una capa subbase. Su periodo de vida es de 10 a 15 años.

#### **2.2.2.2. Alternativa B: 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.

### **2.2.3. Selección de la mejor Alternativa**

#### **2.2.3.1. Alternativa de Trazado Geométrico**

A continuación **resumen:**

- La alternativa B no presenta cruces de agua significativos en relación a lo propuesto en la alternativa A.
- El trazo de la alternativa B atraviesa una zona menos montañosa que el de la alternativa A.
- Las pendientes longitudinales de la alternativa B son de menor magnitud, lo cual facilitara el trazo de la rasante y por ende brindara seguridad al tráfico vehicular.
- La geología de la alternativa B. atraviesa en su mayoría una zona con terreno consolidado lo cual garantizara la estabilidad, a diferencia de la alternativa A.
- Desde el punto de vista del alineamiento horizontal se justifica optar por la distancia más larga, con la finalidad que se cumpla la pendiente mínima establecida para el tipo de carretera seleccionado.

De esta manera se opta por elegir como alternativa de Trazo Geométrico la Alternativa “B”.

#### **2.2.3.2. Alternativa Estructural**

La selección se materializara después de un análisis económico de las diferentes alternativas estructurales, el cual se lo realizara más adelante.

### **2.3. ACCESO AL AREA DEL PROYECTO**

A la comunidad de Guayabillas se tiene acceso por la carretera asfaltada que llega desde la ciudad de Tarija hasta la ciudad de Bermejo, a 70 km de la ciudad capital. A partir de ahí hasta la comunidad de El Baizal el acceso es precario.

No existe otro acceso a la comunidad de El Baizal.

### **2.4. ESTUDIOS PREVIOS DEL PROYECTO**

#### **2.4.1. Estudio de Suelos**

##### **2.4.1.1. Evaluación de Subrasantes**

La Subrasante es la capa en la que se apoya la estructura del pavimento y la característica especial que define la propiedad de los materiales que componen la Subrasante, se conoce como Módulo de Resiliencia. Es por lo cual tiene una gran importancia en la realización de este proyecto, más adelante se resumirá los resultados de los ensayos realizados para la evaluación.

Esta evaluación se basa en las propiedades de los suelos tales como:

- Granulometría
- Plasticidad
- Clasificación de Suelos
- Resistencia al Corte
- Ensayo de C.B.R.

Las propiedades físico-mecánicas son las características utilizadas para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y el control de calidad.

#### **2.4.1.2. Propiedades Físico-Mecánicas de los Suelos para Subrasante**

La Subrasante es definida como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura de un sistema de pavimento.

Estas propiedades de los suelos, son las variables más importantes que se deben considerar a la hora de diseñar una estructura de pavimento. Las propiedades físicas se mantienen invariables aunque se sometan a tratamientos tales como homogenización, compactación, etc.

Sin embargo ambas propiedades cambiarían cuando se realicen en ellos procedimientos de estabilización, a través de procesos de mezclas con otros materiales (cemento, cal, puzolanas, etc.)

Para conocer las propiedades de los suelos en un proyecto, es necesario tomar muestras en todo el desarrollo del mismo.

Los ensayos realizados para la evaluación de Subrasante en este proyecto fueron los siguientes:

- Contenido de Humedad (AASHTO T-265)
- Granulometría (AASHTO T-27)
- Límites de Atterberg (AASHTO T-89, AASHTO T-90)
- Compactación (Proctor) (T-99 T180)
- Valor Soporte (C.B.R.)

#### **2.4.1.3. Clasificación de Suelos**

La clasificación de suelos es el indicador de las propiedades físico mecánicas que tienen los suelos.

La catalogación que mejor describe es la AASHTO M-145, las primeras variables son la granulometría y la plasticidad. Según la norma (AASHTO 93) los suelos se clasifican en siete grupos basándose en la composición granulométrica, en el límite líquido y en el índice de plasticidad de un suelo.

La evaluación de cada grupo, se la hace por medio de su “Índice de Grupo”, el cual es calculado mediante la siguiente fórmula:

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

Dónde:

**IG** : Índice de Grupo

**F** : Porcentaje de Partículas que pasa el tamiz N° 200

**LL** : Limite Liquido expresado como numero entero

**PI** : Índice Plástico expresado como numero entero

La misma norma también clasifica a los suelos en dos grandes grupos Universales y así mismo en Subgrupos, una formada por suelos gruesos o suelos granulares y otro por suelos finos o suelos de granulometría fina, limo-arcillosos.

- **Suelos Gruesos o Suelos Granulares**

Son suelos que contienen 35% o menos del material fino que pasa por tamiz N° 200 (0,075mm), estos suelos conforman los siguientes grupos:

**Cuadro N° 1: Clasificación de Suelos Granulares**

Tipo de Suelo	Descripcion del Suelo
A-1	Constan de materiales granulares bien graduados, contienen fragmentos principalmente de grava, piedra, arena y material fino ligante poco plastico.
A-2	Constan de materiales granulares y contienen cantidades importantes de arena limo-arcillosa (menos del 35% del material fino).
A-3	Contienen areanas limpias, incluyen arenas finas con poca cantidad de limo, se hallan principalmente en playaso en rios donde existe poca grava.

Fuente: AASTHO

Así mismo estos grupos se dividen en sub-grupos que son:

**Cuadro N° 2: Clasificación de Subgrupos de Suelos Granulares**

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Descripcion del Suelo</b>
<b>A-1-a</b>	Constan de materiales formados por piedra o grava, con o sin material ligante.
<b>A-1-b</b>	Constan de materiales como arena gruesa con o sin material ligante
<b>A-2-4 y A-2-5</b>	Constan con materiales que contienen material fino < 35% y el material pasa por el Tamiz N° 40 (similar a los grupos A-4 y A-5).
<b>A-2-6 y A-2-7</b>	Constan de materiales similares a los anteriormente mencionados (A-6 y A-7), el material pasa por el Tamiz N° 40.

Fuente: AASTHO

- **Suelos Finos Limo-Arcillosos**

Son suelos que contienen más del 35% de material fino que pasa por tamiz N° 200 (0,075mm), estos suelos conforman los siguientes grupos:

**Cuadro N° 3: Clasificación de Suelos Finos Limo Arcillosos**

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Descripcion del Suelo</b>
<b>A-4</b>	Constan de materiales que contienen limo, incluyen mezclas de limo con grava y arena (estos suelos deben pasar un 75% o mas del material fino).
<b>A-5</b>	Constan de materiales micaceos, contienen limo, son suelos elasticos y tienen una cierta similitud al grupo A-4.
<b>A-6</b>	Contiene arcilla (75% debe pasar por el tamiz N°200), se incluyen mezclas arcillo-arenosas.
<b>A-7</b>	Suelo semejante al A-6, son suelos donde sus limites liquidos son elevados y son suelos elasticos

Fuente: AASTHO

Así mismo estos grupos se dividen en sub-grupos que son:

**Cuadro N° 4: Clasificación de Subgrupos de Suelos Finos Limo Arcillosos**

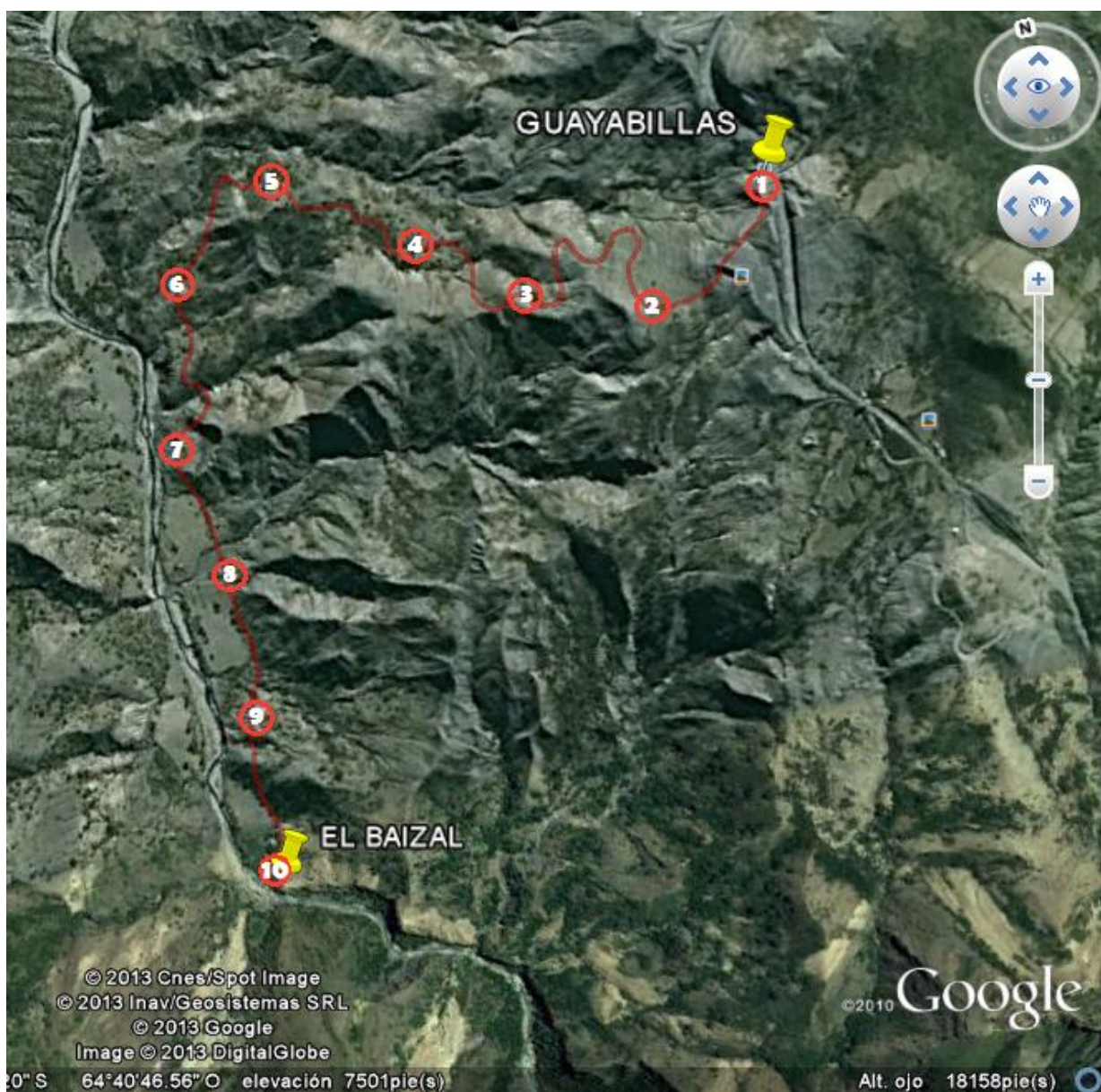
<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Descripcion del Suelo</b>
<b>A-7-5</b>	Contiene materiales donde sus indices de plasticidad no son altos en comparacion de sus limites liquidos.
<b>A-7-6</b>	Contiene suelos que cambian de volumen cuando estos se encuentran en estado seco-humedo y sus indices de plasticidad son altos en comparacion a sus limites liquidos.

Fuente: AASTHO

#### 2.4.1.4. Ubicación de los Pozos

La ubicación de los Pozos se realizó en los sectores en los que los que está prevista la implementación del eje de la carretera, partiendo con una muestra del inicio de la carretera y desde ahí tomando una distancia aproximada de 500 m de un pozo al otro, como se puede observar en la figura N° 3.

Figura N° 3: Ubicación de los Pozos



Fuente: Elaboración Propia

### 2.4.1.5. Resultados de los Ensayos de Laboratorio

Todos los resultados de los Análisis se muestran más a detalle en anexos, a continuación una tabla resumen:

**Cuadro N° 5: Resultados del Análisis de Suelos**

ENSAYO MUESTRA	GRANULOMETRIA		LIMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACION	COMPACTACION		C.B.R.
	P40	P200	LL	LP	IP	AASHTO	D max.	H opt.	95%
1	70,97	65,97	37,64	23,54	14,11	A-6 (8)	2,56	9,22	10,10
2	61,60	59,05	34,49	21,50	13,00	A-6 (5)	2,05	11,35	24,28
3	77,28	74,70	33,52	28,62	4,89	A-4 (4)	2,19	7,20	8,48
4	82,29	80,59	38,25	28,12	10,13	A-4 (9)	2,10	9,37	9,09
5	84,44	76,19	43,23	25,99	17,24	A-7-6 (13)	1,98	10,21	4,03
6	72,86	59,83	32,99	22,84	10,15	A-4 (4)	2,04	10,80	29,35
7	67,87	61,09	35,83	21,11	14,72	A-6 (7)	2,02	10,62	15,17
8	50,03	46,53	32,35	17,01	15,24	A-6 (4)	2,23	7,23	14,56
9	71,91	69,79	33,07	11,16	21,90	A-6 (12)	2,12	9,61	16,79
10	72,91	67,50	32,64	12,02	20,63	A-6 (11)	2,14	8,90	19,22

Fuente: Elaboración Propia

### 2.4.2. Estudio de Tráfico

Es la parte de la ingeniería de transporte que tiene como objetivo la circulación de vehículos y mercadería de manera rápida, segura y económica.

Las principales actividades de la ingeniería de tránsito son:

- Resolver Problemas cuando se planea o proyectan Redes viales
- Resolver Problemas actuales o previsibles a corto plazo
- En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil.

El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se las transforma en número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 Kips que se denomina ESAL`s.













### 2.4.2.1. 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.

Según sea la función del camino la composición del tránsito varía en forma importante de una a otra vía. (CONTROLES BÁSICOS DE DISEÑO – A.B.C.)

**Cuadro N° 6: Configuración Vehicular por Ejes**

CODIGO	TIPO DE VEHICULO	CAPACIDAD (Tn)	EJES	FIGURA
1	Automoviles y Vagonetas			
2	Camionetas	2		
3	Minibuses			
MB	Microbuses		2	
B2	Buses Medianos		2	
B3	Buses Grandes		3	
C2m	Camiones Medianos	2,5 - 10	2	
C2	Camiones Grandes	>10	2	
C3	Camiones Grandes	>10	3	
CSR	Camiones Semiremolque	>15		
CR	Camiones Remolque			
12	Otros Vehiculos			

Fuente: A.B.C.

### 2.4.2.2. Zona de Aforo Vehicular

El aforo o conteo vehicular se realizó entre las comunidades de Cachimayo y San Francisco Chico, debido a que el camino del proyecto “DISEÑO FINAL DE INGENIERIA GUAYABILLAS – EL BAIZAL” presenta características similares a la zona.

### 2.4.2.3. Transito Existente

Como se indicó, el aforo vehicular corresponde a la comunidad de Cachimayo, la cual se encuentra sobre la carretera principal a bermejo y presenta características similares a la zona en estudio:

**Cuadro N° 7 Transito Existente Cachimayo – San Francisco Chico**

<b>COD.</b>	<b>TIPO DE VEHICULO</b>	<b>LUN.</b>	<b>MAR.</b>	<b>MIE.</b>	<b>JUE.</b>	<b>VIE.</b>	<b>SAB.</b>	<b>DOM.</b>	<b>PROM.</b>
1	Automóviles y Vagonetas	8	6	7	9	8	11	9	8
2	camionetas	12	10	7	12	14	13	8	11
3	Minibuses hasta 15 pasajeros	0	0	0	0	0	0	0	0
MB	Microbuses hasta 21 pasajeros	0	0	0	0	0	0	0	0
B2	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros)	0	0	0	0	0	0	0	0
B3	Buses Grandes (más de 35 pasajeros)	0	0	0	0	0	0	0	0
C2m	Camiones Medianos	8	11	9	12	13	10	9	10
C2	Camiones Grandes 2 EJES	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	Camiones Grandes 3 EJES	0	0	0	0	0	0	0	0
CSR	Camiones Semirremolque	0	0	0	0	0	0	0	0
CR	Camiones Remolque	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Otros Vehículos	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>		<b>28</b>	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>34</b>	<b>26</b>	<b>29</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 2.4.2.4. Relación entre los Volúmenes de Transito Promedio Diario, Anual y Semanal

Para obtener el transito promedio diario anual, TPDA, es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, ya sea en periodos horarios, diarios, semanales o mensuales. Muchas veces, esta información anual es difícil de obtener, al menos en todas las vialidades, por los costos que ello implica. En estas situaciones, muestras de los datos sujetas a las mismas técnicas de análisis permiten generalizar el comportamiento de la población. Por lo anterior, en el análisis de volumen de tránsito, la media poblacional o TPDA, se estima con base en la media muestral o TPDS, según la siguiente expresión:

$$\text{TPDA} = \text{TPDS} \pm A$$

Dónde:

**TPDA** : Trafico promedio diario anual

**A** : Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS

**TPDS** : Trafico promedio diario semanal

Como se observa, el valor de A, sumado o restado del TPDS, define el intervalo de confianza dentro del cual se encuentra el TPDA. Para un determinado nivel de confiabilidad, el valor de A es:

$$A = KE$$

**K** : Número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado.

**E** : Error estándar de la media.

Estadísticamente se ha demostrado que las medias de diferentes muestras, tomadas de la misma población, se distribuyen normalmente alrededor de la media poblacional con una desviación estándar equivalente al error estándar. También se puede escribir que:

E:  $\sigma$  : Estimador de la desviación estándar poblacional.

**Cuadro N° 8: Variación Diaria del Volumen de Transito**

<b>VARIACION DIARIA DEL VOLUMEN DE TRANSITO CAMINO: GUAYABILLAS – EL BAIZAL</b>				
<b>Día de la semana</b>	<b>Automóviles y Vagonetas</b>	<b>Camionetas</b>	<b>Camión Mediano</b>	<b>Total</b>
<b>Sábado</b>	11	13	10	34
<b>Domingo</b>	9	8	9	26
<b>Lunes</b>	8	12	8	28
<b>Martes</b>	6	10	11	27
<b>Miércoles</b>	7	7	9	23
<b>Jueves</b>	9	12	12	33
<b>Viernes</b>	8	14	13	35
<b>Total</b>	58	76	72	206
<b>%</b>	<b>28,16%</b>	<b>36,89%</b>	<b>34,95%</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Transito promedio diario semanal, TPDS (veh/día)**

**Desviación Estándar muestral, S:**

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPDS)^2}{n-1}}$$

**TD<sub>i</sub>** : Volumen de transito del día i

**n** : Tamaño de la muestra en número de días del aforo.

**Desviación Estándar poblacional estimada,  $\hat{\sigma}$ :**

$$\hat{\sigma} = \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$$

**N** : Tamaño de la población en número de días del año

#### 2.4.2.5. Transito Promedio Diario Anual TPDA (veh/día)

$$TPDA = TPDS \pm K\hat{\sigma}$$

#### Intervalos del TPDA

En la distribución normal, para niveles de confiabilidad del 90% y 95% los valores de la constante K son 1.64 y 1.96, respectivamente.

Optando el nivel de confiabilidad del 90%, **K= 1.64**

#### Cuadro N° 9: Relación entre los Volúmenes de Transito Promedio Diario, Anual y Semanal

RELACION ENTRE LOS VOLUMENES DE TRANSITO PROMEDIO DIARIO, ANUAL Y SEMANAL				
Tipo	Automóviles y Vagonetas	Camionetas	Camión Mediano	Total
TPDS	8	11	10	29
S	2	3	2	5
$\sigma$	0,60	0,98	0,67	2
TPDA=TPDS(+ -)K* $\sigma$	9	12	11	32
	7	9	9	27
Intervalos	$7 \leq TPDA \leq 9$	$9 \leq TPDA \leq 12$	$9 \leq TPDA \leq 11$	$27 \leq TPDA \leq 32$
TPDA	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>32</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 2.4.2.6. Estimación del Número de Ejes Equivalentes

El ESAL (Equivalent Simple Axial Load) es la conversión de las cargas, a un número de repeticiones de cargas equivalente de un eje simple de ruedas duales de carga estándar de 18,000 lb. Para la obtención de este valor es necesario el análisis a partir de la composición del tráfico.

- **Pronostico del volumen de transito futuro**

El pronóstico del volumen de transito futuro, por ejemplo el TPDA del año de proyecto, en el mejoramiento de una carretera existente o en la construcción de una nueva carretera, deberá basarse en los incrementos del tránsito que se espera utilicen la nueva carretera.

$$\mathbf{TF = TA + IT}$$

**El transito actual, TA**, es el volumen de tránsito que usara la carretera en el momento de quedar completamente en servicio. En áreas rurales cuando no se dispone de estudios de origen y destino ni datos de tipo económico, es suficiente la utilización de las series históricas de los aforos vehiculares en términos de los volúmenes de transito diario anual, TPDA.

$$\mathbf{TA = TPDA}$$

**El incremento del tránsito, IT**, es el volumen de tránsito que se espera use el nuevo camino en el año futuro seleccionado como proyecto. Este incremento se compone del tránsito generado, TG, y del tránsito desarrollado, TD.

**El tránsito generado, TG**, consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los del transporte público, que no se realizarían si no se construye el nuevo camino. Al tránsito generado se le asignan tasas de incremento entre 5% y el 25% del tránsito actual, con un periodo de generación de uno o dos años después de que el camino ha sido abierto al servicio.

**El transito desarrollado, TD**, a diferencia del tránsito generado, TG, el transito desarrollado continua actuando por muchos años más después que el nuevo camino ha sido puesta al servicio. Por experiencia indica que en carreteras construidas con altas especificaciones, el suelo lateral tiende a desplegarse más rápidamente de lo normal, generando un tránsito adicional el cual se conceptúa como transito desarrollado, con valores del 5% del tránsito actual.

*Para el presente proyecto no se considera el CNT debido a que se trata de una apertura de camino.*

**Cuadro N° 10: Resultados del Transito Futuro (Autos y vagonetas)**

Año de Estudio	TRANSITO FUTURO (TF)			Automóviles y Vagonetas	
	TA	IT		TPD	TPD*365
		T G (20%)	TD (5%)		
2013	9	-	-	-	
2014		2	0	12	4230
2015		2	1	14	5288
2016			1	15	5552
2017			1	16	5830
2018			1	17	6121
2019			1	18	6427
2020			1	18	6749
2021			1	19	7086
2022			1	20	7440
2023			1	21	7812
2024			1	22	8203
2025			1	24	8613
2026			1	25	9044
2027			1	26	9496
2028			1	27	9971

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro N° 11: Resultados del Transito Futuro (Camionetas)**

Año de estudio	TRANSITO FUTURO (TF)			Camionetas	
	TA	IT		TPD	TPD*365
		T G (20%)	TD (5%)		
2013	12	-	-	-	
2014		2	1	16	5685
2015		3	1	19	7107
2016			1	20	7462
2017			1	21	7835
2018			1	23	8227
2019			1	24	8638
2020			1	25	9070
2021			1	26	9524
2022			1	27	10000
2023			1	29	10500
2024			1	30	11025
2025			2	32	11576
2026			2	33	12155
2027			2	35	12763
2028			2	37	13401

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro N° 12: Resultados del Transito Futuro (Camión Mediano)**

Año de Estudio	TRANSITO FUTURO (TF)			Camión Mediano	
	TA	IT		TPD	TPD*365
		T G (20%)	TD (5%)		
2013	11	-	-	-	
2014		2	1	14	5198
2015		3	1	18	6497
2016			1	19	6822
2017			1	20	7163
2018			1	21	7521
2019			1	22	7897
2020			1	23	8292
2021			1	24	8707
2022			1	25	9142
2023			1	26	9599
2024			1	28	10079
2025			1	29	10583
2026			1	30	11112
2027			2	32	11668
2028			2	34	12251

Fuente: Elaboración Propia

**- Cálculo de ESALs**

El programa de DIPAV 2.1, proporciona una hoja electrónica muy útil para calcular el número acumulado de ESALs a partir de datos de tráfico, configuración y tipo de eje.

Se deben introducir los valores del tráfico Promedio Diario Anual para cada tipo de vehículo que se especifique. También se debe colocar los años a los que estos valores representan.

DIPAV 2.1

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Flexible Módulo ESALs Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Cálculo del TPDA Cálculo de Factores Equivalentes Vehiculares (FC)

Año	Automóviles	Camionetas	Camión mediano
2014	12	16	14
2015	14	19	18
2016	15	20	19
2017	16	21	20
2018	17	23	21
2019	18	24	22
2020	18	25	23
2021	19	26	24
2022	20	27	25
2023	21	29	26
2024	22	30	28
2025	24	32	29
2026	25	33	30
2027	26	35	32
2028	27	37	34

Número Estructural Asumido (pulgadas) 1.5 Exportar Período de diseño 15

Porcentaje de Tráfico en el Camil de Diseño (ESALs)(%) 100 Editar Tipos Nro. de Vehículos 3

Número de Ejes Equivalentes ESALs 122.265 Calcular <===== Ok

### - Cálculo de Factores Equivalentes Vehiculares

DIPAV contiene programadas las fórmulas para obtener los FC de acuerdo al peso de cada eje y su configuración.

La “nomenclatura” corresponderá a la configuración de ejes del vehículo, de manera que debe colocarse los siguientes valores numéricos:

- 1 Para eje simple
- 2 Para eje tándem
- 3 Para eje tridem

Las siguientes cuatro filas requieren como dato el peso de cada eje especificado en la fila “Nomenclatura”. Las cargas deben introducirse en toneladas.

En las casillas indicadas a continuación, DIPAV, muestra los valores de los factores equivalentes calculados para cada uno de los ejes.

Esta acción permite además calcular la suma total de vehículos por cada tipo, para lo cual DIPAV los multiplica por 365 (para considerar el acumulado anual), en base a ello, calcula el valor total de ejes equivalentes que solicitará la carretera. En la última fila se despliega la cantidad de ESALs parciales por cada tipo de vehículo para todo el periodo de diseño, como así también el total de los mismos en la última columna, en cuyo título se especifica el porcentaje de tráfico asumido.

Cálculo de Factores Equivalentes Vehiculares (FC)		Automoviles	Camionetas	Camion mediano	TOTAL (100%)
Nomenclatura	Eje Delantero	1	1	1	
	1er Eje Trasero	1	1	1	
	2do Eje Trasero				
	3er Eje Trasero				
Carga por Eje (ton)	Eje Delantero	1	1	2	
	1er Eje Trasero	1	1.2	8	
	2do Eje Trasero				
	3er Eje Trasero				
Factor Camión	Eje Delantero	0.00031	0.00031	0.00343	
	1er Eje Trasero	0.00031	0.00057	0.91284	
	2do Eje Trasero				
	3er Eje Trasero				
Total Ejes Equivalentes		0.00082	0.00088	0.91827	
Total Número de Vehículos		107310	144905	133225	
ESAL's		67	128	122070	122265

Número Estructural Asumido (pulgadas)   Período de diseño

Porcentaje de Tráfico en el Camil de Diseño (ESALs)(%)   Nro. de Vehículos

Número de Ejes Equivalentes ESALs

**Cuadro N° 13: Numero de Ejes Equivalentes**

<b>NÚMERO TOTAL DE EJES EQUIVALENTES</b>	<b>122265</b>
--	---------------

Fuente: Elaboración Propia

### 2.4.3. Estudio Hidrológico

En este estudio obtendremos las intensidades para un determinado periodo de diseño en función al tipo de obra de arte a diseñar.

Para ello se realizó lo siguiente:

- Elección del periodo de Retorno (T)
- Recopilación de los datos hidrológicos
- Análisis de los datos hidrológico

#### 2.4.3.1. Periodo de Retorno

Se realizó la elección del periodo de retorno, que es la probabilidad de que ocurra una excedencia de un evento en una obra hidráulica, es necesario considerar la relación de la vida útil de la estructura y el riesgo de falla aceptable.

Se usan los siguientes tiempos de retorno para las estructuras hidráulicas de la ruta:

Cunetas: 5 años y alcantarillas: 25 años

Estos tiempos de retorno son razonables y quedan dentro de las normas (Administradora Boliviana de caminos) usuales para el diseño de obras de drenaje para caminos.

**Cuadro N° 14: Periodos de Retorno Para Diseño**

Tipo de Obra	Tipo de Ruta	Periodo de Retorno (T años)		Vida útil Supuesta (n; años)	Riesgo de Falla (%)	
		Diseño (3)	Verificación (4)		Diseño	Verificación
Puentes y Viaductos (1)	Carretera	200	300	50	22	15
	Camino	100	150	50	40	28
Alcantarillas ( $S > 1,75 \text{ m}^2$ ) o $H_{\text{trasp}} \geq 10 \text{ m}$ y Estructuras Enterradas (2)	Carretera	100	150	50	40	28
	Camino	50	100	30	45	26
Alcantarillas ( $S < 1,75 \text{ m}^2$ )	Carretera	50	100	50	64	40
	Camino	25	50	30	71	45
Drenaje de la Plataforma	Carretera	10	25	10	65	34
	Camino	5	10	5	67	41
Defensas de Riberas	Carretera	100	-	20	18	-
	Camino	100	-	20	18	-

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras.

### 2.4.3.2. Recopilación de los datos hidrológicos

La información pluviométrica fue proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Se eligió aquella estación pluviométrica próxima a la cuenca de aporte que inciden sobre el proyecto vial.

#### Cuadro N° 15: Precipitación Máxima Diaria (Cañas)

Estación: CAÑAS

Lat. S.: 21° 54' 08"

Provincia: ARCE

Long. W.: 64° 51' 03"

Departamento: TARIJA

Altura: 2.078 m.s.n.m.

<b>AÑO</b>	<b>ENE.</b>	<b>FEB.</b>	<b>MAR.</b>	<b>ABR.</b>	<b>MAY.</b>	<b>JUN.</b>	<b>JUL.</b>	<b>AGO.</b>	<b>SEP.</b>	<b>OCT.</b>	<b>NOV.</b>	<b>DIC.</b>	<b>MAX.</b>
<b>1977</b>				18,0	0,3	0,0	0,0	10,0	2,8	34,2	31,5	43,0	
<b>1978</b>	27,3	25,4	91,5	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	52,3	11,4	20,2	91,5
<b>1979</b>	45,7	22,6	37,8	8,0	0,0	0,0	4,3	16,5	0,9	14,2	38,2	36,1	45,7
<b>1980</b>	24,7	23,6	38,2	26,7	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	32,4	30,0	36,8	38,2
<b>1981</b>	38,0	60,1	28,6	25,5	0,0	0,0	0,0	15,3	3,8	32,3	38,6	35,2	60,1
<b>1982</b>	59,6	52,6	24,7	24,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,8	33,4	16,6	59,6
<b>1983</b>	17,1	32,3	3,1	3,6	1,6	0,0	1,0	0,0	2,2	12,1	14,1	16,6	32,3
<b>1984</b>	48,5	28,9	28,4	15,0	0,0	0,0	0,0	16,6	8,5	0,0	0,0	23,8	48,5
<b>1985</b>	28,2	29,1	25,4	10,6	0,0	0,0	0,0	10,2	0,0	21,4	23,1	20,6	29,1
<b>1986</b>	19,4	26,9	40,1	10,0	0,0	0,0	0,0	5,6	18,0	25,4	36,2	29,6	40,1
<b>1987</b>	20,2	22,4	10,8	18,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,4	22,1	10,6	29,4
<b>1988</b>	21,4	10,4	46,8	6,9	0,9	0,0	0,0	0,0	6,0	14,2	15,7	38,6	46,8
<b>1989</b>	25,9	16,8	20,9	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	10,6	19,6	20,2	25,9
<b>1990</b>	18,2	35,2	25,1	4,2	0,0	0,0	0,8						
<b>1991</b>													
<b>1992</b>	20,4	65,6	25,0	0,2	0,2	0,0	0,0	5,2	7,2	15,0	15,5	20,0	65,6

<b>1993</b>	50,0	20,0	44,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	10,0	10,2	40,4	50,0
<b>1994</b>	32,5	24,0	22,0	1,9				0,0	18,2	14,3	33,1	22,1	
<b>1995</b>	48,4	26,1	65,4	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	39,1	19,2	19,1	65,4
<b>1996</b>	40,0	54,1	15,2	8,2	27,0	0,0	0,0	2,4	21,2	4,2	28,0	29,0	54,1
<b>1997</b>	32,1	51,2	17,3	51,0	5,3	0,0	0,0	0,0	7,4	17,4	41,2	60,0	60,0
<b>1998</b>	35,0	26,0	27,2	21,0	0,0	0,0	0,0	2,0	3,0	12,6	17,6	45,0	45,0
<b>1999</b>	33,2	20,2	54,0	8,2	11,0	0,0	2,2	0,6	64,4	29,6	15,2	53,0	64,4
<b>2000</b>	122,0	35,2	63,0	11,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,8	14,4	22,6	32,0	122,0
<b>2001</b>	35,2	24,0	25,8	20,0	0,0	0,0	0,0	0,8	11,0	19,2	47,4	33,0	47,4
<b>2002</b>	28,6	41,8	43,2	9,8	1,4	0,0	0,8	0,0	0,2	37,0	24,8	10,0	43,2
<b>2003</b>	87,6	22,4	37,2	13,6	1,2	1,6	0,0	0,0	0,5	20,4	17,6	19,0	87,6
<b>2004</b>	36,0	40,6	16,2	38,8	4,4	2,2	1,0	1,4	22,6	5,6	33,6	48,2	48,2
<b>2005</b>	32,0	40,0	15,2	28,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	4,0	18,4	29,0	40,0
<b>2006</b>	38,6	41,2	44,4	10,8	8,1	0,2	0,0	0,0	0,0	29,7	4,3	24,3	44,4
<b>2007</b>	72,1	40,0	53,8	42,8	2,3	0,4	0,0	0,0	3,4	40,0	20,4	15,0	72,1
<b>2008</b>	26,5	25,3	19,2	6,6	0,0	0,0	0,0	0,2	3,6	20,4	21,0	73,6	73,6
<b>2009</b>	34,2	30,2	40,0	12,2	2,8	0,0	0,0	3,0	21,0	3,8	62,0	52,0	62,0
<b>2010</b>	21,6	51,2	24,6	9,6	1,2	1,0	0,0	0,4	0,2	4,0	14,2	22,4	51,2
<b>2011</b>	34,2	50,0	34,2	8,2	2,0	1,2	0,0	0,0	0,0	35,8	28,0	27,2	50,0
<b>2012</b>	18,8	57,8	54,0	24,8	0,8	3,4	1,4	1,0	2,8	7,8	15,8	13,8	57,8
<b>2013</b>	32,2	23,0	8,6										
<b>2014</b>													
<b>2015</b>													
<b>MEDIA</b>	122,0	65,6	91,5	51,0	27,0	3,4	4,3	16,6	64,4	52,3	62,0	73,6	122,0

Fuente: SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología)

### Cuadro N° 16: Precipitación Máxima Diaria (La Merced)

Estación: LA MERCED

Lat. S.: 22° 01' 29"

Provincia: ARCE

Long. W.: 64° 40' 36"

Departamento: TARIJA

Altura: 1,509 m.s.n.m.

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	MAX.
<b>1999</b>						<b>2,0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,0</b>	<b>17,7</b>	20,0	45,0	33,0	
<b>2000</b>	<b>82,5</b>	25,0	40,0	8,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	<b>42,5</b>	8,0	26,0	82,5
<b>2001</b>	25,5	22,0	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	13,0	20,0	19,0	33,5	33,5
<b>2002</b>	37,5	53,5	69,0	4,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	38,0	20,5	50,5	69,0
<b>2003</b>	38,0	17,0	37,5	9,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	1,5	14,5	20,0	25,0	38,0
<b>2004</b>	27,0	<b>61,5</b>	14,0	14,5	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	11,0	6,5	10,0	18,0	61,5
<b>2005</b>	71,5	25,5	23,5	8,5	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	4,5	8,5	<b>60,0</b>	71,5
<b>2006</b>	31,0	19,0	60,0	9,0	1,5	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	15,5	11,0	15,5	60,0
<b>2007</b>	36,0	24,0	40,0	2,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	2,6	15,5	24,0	20,0	40,0
<b>2008</b>	51,5	8,2	15,5	5,7	<b>7,0</b>	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	13,5	24,5	27,0	51,5
<b>2009</b>	17,3	20,0	32,0	14,0	0,1	0,0	0,0	<b>0,0</b>	6,5	13,0	<b>54,0</b>	31,0	54,0
<b>2010</b>	16,5	48,0	10,0	2,5	1,5	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	1,0	20,0	23,0	48,0
<b>2011</b>	70,0	57,5	11,5	1,7	1,5	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	18,0	25,0	22,5	70,0
<b>2012</b>	45,0	19,0	<b>73,0</b>	<b>15,0</b>	3,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	2,0	10,5	9,0	14,0	73,0
<b>2013</b>	26,0	27,0	7,5										
<b>2014</b>													
<b>2015</b>													
<b>MEDIA</b>	82,5	61,5	73,0	15,0	7,0	2,0	0,5	0,0	17,7	42,5	54,0	60,0	82,5

Fuente: SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología)

### 2.4.3.3. Calculo de la Intensidad Máxima

Para el diseño de alcantarillas de cruce la ecuación de intensidad será:

$$i = 141.17 * tc^{-0.652}$$

Dónde:

**i** : Intensidad (mm/hr), para un periodo de retorno de 25 años.

**tc** : tiempo de concentración,(hr)

**Cuadro N° 17: Intensidades para las Alcantarillas de Cruce**

Unidad o Cuenca	Curso Principal	Intensidad I (mm/hr)
		T = 25
1	Quebrada S/N 1	1454.201
2	Quebrada S/N 2	1015.013
3	Quebrada S/N 3	933.569
4	Quebrada S/N 4	549.391
5	Quebrada S/N 5	845.092
6	Quebrada S/N 6	903.131

Fuente: Elaboración propia

La intensidad para el diseño de la cuneta será:

$$i = 103,55 * tc^{-0.652}$$

$$i = 333,046 \text{ mm/hr}$$

**i** : Intensidad (mm/hr), para un periodo de retorno de 5 años.

**tc** : 0.17 hr, tiempo de concentración mínimo de 10 min, por norma de la A.B.C.(Administradora Boliviana de Carreteras).

### 2.4.3.4. Tiempo de Concentración

Se determina el tiempo de concentración para las diferentes intensidades de los cruces de quebrada a partir de las relaciones empíricas, para luego disponer de un promedio.

- KIRPICH Z.P. (Californiana)

$$tc = \left( \frac{0.871 \cdot L^3}{H} \right)^{0.385}$$

- BASSO E.

$$tc = 0.066 \left( \frac{L}{\sqrt{J}} \right)^{0.77}$$

**tc** : Tiempo de concentración (hrs.)

**A** : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

**L** : Long. del rio principal (km)

**J** : Pendiente Media del rio (m/m)

**H** : Diferencia de elevación (m)

**Cuadro N° 18: Tiempo de concentración**

Tiempo de concentración (hrs)				
Unidad o cuenca	Curso Principal	Basso E.	Kirpich Z.P.	ADOPTADO
1	Quebrada S/N 1	0.0279	0.0280	0.0280
2	Quebrada S/N 2	0.0484	0.0487	0.0486
3	Quebrada S/N 3	0.0550	0.0553	0.0552
4	Quebrada S/N 4	0.1241	0.1248	0.1245
5	Quebrada S/N 5	0.0641	0.0644	0.0643
6	Quebrada S/N 6	0.0579	0.0582	0.1161

Fuente: Elaboración propia

## **2.5. DISEÑO GEOMÉTRICO**

### **2.5.1. Selección de Carreteras**

De acuerdo con la norma de la **ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS**, una carretera es una vía de transporte destinada fundamentalmente a servir al tránsito de paso, a dar acceso a la propiedades colindantes o bien a dar un servicio que sea combinación de ambas posibilidades.

#### **2.5.1.1. Criterios para definir una Carretera**

Los criterios para definir la característica de una carretera o camino son los siguientes:

1. Funciones de las carreteras o caminos
2. Demanda horaria de tránsito
3. Conceptos relativos a velocidad en el diseño vial
4. Controles de acceso
5. Característica de los vehículos
6. Facilidades para los peatones
7. Capacidad y nivel de servicio

#### **2.5.1.2. Funciones de las Carreteras o Caminos**

- **Carreteras**

En este caso se requieren demandas de tránsito elevados, del orden de varios miles o decenas de miles de vehículo como promedio diario anual. Resulta indispensable restringir el acceso hacía o desde las propiedades colindantes y dar un tratamiento especial al cruce de la carretera con otras vías de tránsito, normalmente este tipo de carretera está destinada a viaje largo y su importancia es de orden nacional o al menos interregional, el porcentaje de Kilómetros respecto del total de la red es bajo. Estas

corresponden a la categoría que se incluye en el sistema de clasificación funcional para diseño bajo la denominación de Autopista, Autorrutas y Carreteras primarias.

- **Caminos**

En este caso su función es dar acceso a las propiedades colindantes, su zona de influencia es limitada y por ende los volúmenes de tránsito que los solicitan no pasan de algunos cientos como promedio anual. La longitud de los viajes en este tipo de caminos suelen ser cortos, ya que normalmente empalman con otras vías de categoría superior.

### **2.5.2. Demanda y Características del Tránsito**

Para seleccionar la categoría que se debe dar a una determinada vía, es indispensable tener una acertada predicción de los volúmenes de demanda, su composición y la evolución que esta variable pueda experimentar a lo largo de la vida de diseño.

### **2.5.3. Conceptos relativos a la Velocidad en el Diseño Final.**

#### **2.5.3.1. Velocidad de proyecto ( $v_p$ )**

Es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad.

#### **2.5.3.2. Velocidad específica ( $v_e$ )**

Es la máxima velocidad a la cual se puede circular por un elemento del trazado, considerando individualmente, en condiciones de seguridad y comodidad, encontrándose el pavimento húmedo, esta velocidad se aplica a los elementos curvos de la planta.

### **2.5.3.3. Velocidad de operación ( $v_o$ )**

Es la velocidad media de desplazamiento que pueden lograr los usuarios de un tramo carretera de una velocidad de proyecto dada, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, del estado del pavimento, meteorología y grado de relación de esta con otras vías y con la propiedad adyacente.

### **2.5.3.4. Velocidad percentil 85 ( $v_{85}$ )**

Es aquella velocidad que no es superada por el 85% de los usuarios en un tramo de características homogéneas, bajo las condiciones de tránsito prevalecientes, estados del pavimento, meteorológica y grado de relación de este con otras vías y con la propiedad adyacente.

## **2.5.4. Características de los Vehículos**

Los vehículos que circulan por las carreteras influyen el diseño fundamentalmente desde dos puntos de vista:

1. Velocidad que son capaces de desarrollar.
2. Dimensiones propias de los vehículos.

Los vehículos livianos: Automóviles y similares, determinan las velocidades máximas a considerar en el diseño.

Los vehículos pesados: Camiones de diversos tipos, y en menor medida los buses, experimentan reducciones importantes en su Velocidad de Operación cuando existen tramos en pendiente.

## **2.5.5. Capacidad y Nivel de Servicio**

### **2.5.5.1. Capacidad de una Carretera o Camino**

Se define como la intensidad máxima de vehículos que puede pasar por una sección de un camino, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y del camino. Normalmente, se expresa como un volumen horario, cuyo valor no se puede sobrepasar a no ser que las condiciones prevalecientes cambien.

### **2.5.5.2. Niveles de Servicio**

Es necesario, que el volumen de demanda sea menor que la capacidad de la carretera, para que esta proporcione al usuario un nivel de servicio aceptable. La demanda máxima que permite un cierto nivel o calidad de servicio es lo que se define como volumen de servicio.

## **2.5.6. Clasificación Funcional Para Diseño**

### **2.5.6.1. Sistema de Clasificación de Vías**

Las carreteras o caminos se catalogan es en seis categorías que se dividen en dos grupos:

- **Carreteras:** Autopista, Autorutas y Primarias.
- **Caminos:** Colectores, Locales y de Desarrollo.

**Cuadro N° 19: Clasificación funcional para Diseño de Carreteras y Caminos Rurales**

CATEGORIA		SECCION TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	CODIGO TIPO
		N° CARRILES	N° CALZADAS		
AUTOPISTA	(O)	4 ó + UD	2	120 – 100 – 80	A (n) – xx
AUTORUTA	(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
		2 BD	1	100 – 90 – 80	P (2) - xx
COLECTOR	(II)	4 ó + UD	2(1)	80 – 70 - 60	C (n) - xx
		2 BD	1	80 – 70 - 60	C (2) - xx
LOCAL	(III)	2 BD	1	70 – 60 – 50 - 40	L (2) - xx
DESARROLLO		2 BD	1	50 – 40 – 30*	D - xx

- |                        |                                   |
|------------------------|-----------------------------------|
| - UD: Unidireccionales | - (n) Número Total de Carriles    |
| - BD: Bidireccionales  | - xx Velocidad de Proyecto (km/h) |

\* Menor que 30 km/h en sectores puntuales conflictivos

- Fuente: Manual de Carreteras vol.1. Administradora Boliviana de Carreteras

*El proyecto de Diseño Final de Ingeniería Guayabillas – El Baizal se contempla entre los caminos de Desarrollo.*

- **Caminos de Desarrollo**

Están destinados a conectar zonas aisladas y por ellas transitarán vehículos motorizados y vehículo a tracción animal. Su función principal la de posibilitar tránsito permanente aun cuando las velocidades sean reducida, de hecho las velocidades de proyecto podrán ser disminuidas en sectores conflictivos.

Las velocidades referenciales de proyecto son:

**Cuadro N° 20: Velocidad de Proyecto según el Tipo de Terreno**

<b>TIPO DE TERRENO</b>	<b>VELOCIDAD DE PROYECTO</b>
Llano a Ondulado Medio	50 y 40 km/h
<b>Ondulado Fuerte a Montañoso</b>	<b>30 km/h</b>

Fuente: Manual de Carreteras vol.1. Administradora Boliviana de Carreteras

*El proyecto de Diseño Final de Ingeniería Guayabillas – El Baizal se clasifica como Camino de Desarrollo ya que conecta zonas aisladas y posibilitará el acceso a partir de carreteras adyacentes al proyecto. La velocidad de proyecto elegida es de 30 km/h de acuerdo a la topografía que presenta la zona.*

### **2.5.7. Diseño Geométrico del Trazado**

Las carreteras y caminos son obras tridimensionales, cuyos elementos quedan definidos mediante las proyecciones sobre los planos ortogonales de referencia: Planta, Elevación y Sección Transversal.

El elemento básico para tal definición es el eje de la vía, cuyas proyecciones en planta y elevación definen la planta y el alineamiento vertical respectivamente.

Los criterios a aplicar en los distintos casos se establecen mediante límites normativos y recomendaciones que el proyectista deberá respetar y en lo posible, dentro de límites

económicos razonables, superar, para lograr un trazado que satisfaga las necesidades del tránsito y brinde la seguridad y calidad de servicio, que se pretende obtener del camino, según sea la categoría asignada.

*El diseño geométrico se hizo a través del programa AUTOCAD CIVIL 3D 2012, de acuerdo a la norma de la A.B.C.*

### 2.5.8. Distancias de Frenado

En todo punto del 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 al centro de dicho carril.

La distancia de frenado sobre una alineación recta de pendiente uniforme, se calcula mediante la expresión:

$$Df = \frac{V * t}{3,6} + \frac{V^2}{254(f1 + i)}$$

Donde

- Df** : Distancia de Frenado (m)
- V** : V<sub>p</sub> o V\*(km/h)
- T** : Tiempo de Percepción + Reacción (s)
- f<sub>1</sub>** : Coeficiente de Roce Rodante, Pavimento Húmedo
- i** : Pendiente Longitudinal (m/m)
  - + i Subidas respecto sentido de circulación
  - i Bajadas respecto sentido de circulación

**Cuadro N° 21: Distancia Mínima de Frenado**

V	t	f <sub>1</sub>	dt	Df	Df (m)		v
km/h	s	-	m	m	dt + Df	Adopt.	Km/h
30	2	0,420	16,7	8,4	25,1	25	30

Fuente: Manual de Carreteras vol.1. Administradora Boliviana de Carreteras

*La distancia de frenado adoptada, de acuerdo a la velocidad de proyecto es de 25m.*

### 2.5.9. Distancias de Adelantamiento

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

**Cuadro N° 22: Distancia Mínima de Adelantamiento**

Velocidad de Proyecto km/h	Distancia Mínima de Adelantamiento (m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

Fuente: Manual de Carreteras vol.1. Administradora Boliviana de Carreteras

*La distancia de Adelantamiento adoptada de acuerdo a la tabla es de 180 m.*

### 2.5.10. Parámetros del Diseño del Alineamiento Horizontal

A continuación se describen los parámetros que se consideraron para el diseño de curvas horizontales.

#### 2.5.10.1. Curvas Circulares Horizontales

Son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas.

En la figura N° 4 se ilustran los diversos elementos asociados a una curva circular.

**Figura N° 4: Elementos de una Curva Circular Horizontal**

**Tangente:**

$$T = R * \tan \frac{\Delta}{2}$$

**Externa:**

$$E = R * \left( \sec \frac{\Delta}{2} - 1 \right)$$

**Longitud del Arco Circular:**

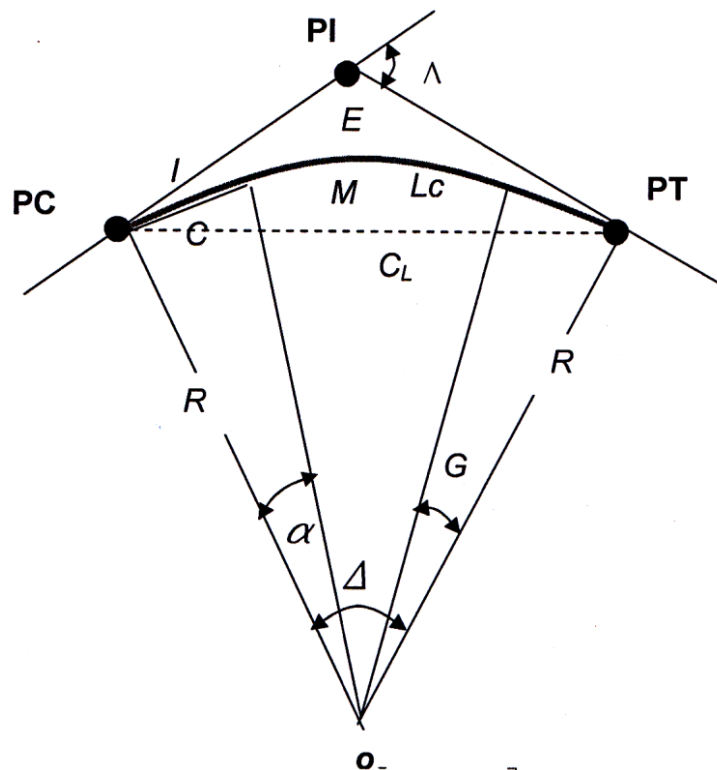
$$D = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$$

**Cuerda del Arco:**

$$Lc = 2 * R * \sin \frac{\Delta}{2}$$

**Flecha del Arco:**

$$f = R * \left( 1 + \cos \frac{\Delta}{2} \right)$$



Donde:

**PI** : Punto de intersección de las tangentes.

**PC** : Principio de Curva.

**PT** : Final de Curva.

$\Delta$  : Angulo de deflexión entre dos alineaciones.

**R** : Radio de curvatura del arco de círculo. (m)

**Lc** : Longitud de curva

**Cuadro N° 23: Curvas Horizontales**

CURVAS HORIZONTALES CIRCULARES											
N°	PC	PI	PT	SENTIDO	Dc	T	R	L	C	E	M
1	0+020,403	0+042,5	0+065,462	Izquierda	103,27	31,58	25	45,06	39,20	15,28	9,48
2	0+071,452	0+086,53	0+101,617	Derecha	69,13	17,23	25	30,17	28,37	5,36	4,41
3	0+213,528	0+235,73	0+257,941	Izquierda	101,79	30,75	25	44,41	38,80	14,63	9,23
4	0+350,35	0+384,72	0+419,09	Derecha	157,55	125,95	25	68,74	49,04	103,41	20,13
5	0+491,09	0+500,37	0+509,66	Derecha	8,80	2,31	30	4,61	4,60	0,09	0,09
6	0+577,01	0+589,36	0+601,72	Izquierda	56,61	13,46	25	24,70	23,71	3,40	2,99
7	0+723,16	0+768,63	0+814,11	Derecha	173,70	545,38	30	90,95	59,91	516,21	28,35
8	0+877,76	0+892,23	0+906,69	Izquierda	55,25	15,70	30	28,93	27,82	3,86	3,42
9	0+974,94	1+013,44	1+051,94	Izquierda	147,06	101,47	30	77,00	57,54	75,81	21,49
10	1+100,29	1+105,45	1+110,60	Izquierda	19,70	5,21	30	10,32	10,27	0,45	0,44
11	1+148,13	1+177,75	1+207,37	Derecha	135,76	61,51	25	59,24	46,32	41,40	15,59
12	1+247,94	1+278,41	1+308,89	Izquierda	139,68	68,10	25	60,95	46,94	47,55	16,38
13	1+336,79	1+357,74	1+378,68	Izquierda	68,57	23,86	35	41,89	39,43	7,36	6,08
14	1+408,19	1+435,03	1+461,88	Derecha	87,89	33,74	35	53,69	48,58	13,61	9,80
15	1+471,67	1+492,98	1+514,30	Derecha	69,78	24,41	35	42,63	40,04	7,67	6,29
16	1+538,14	1+546,23	1+554,33	Izquierda	30,92	8,30	30	16,19	15,99	1,13	1,09
17	1+613,84	1+649,88	1+685,92	Derecha	165,20	192,42	25	72,08	49,58	169,04	21,78
18	1+740,41	1+768,25	1+796,08	Izquierda	106,32	40,04	30	55,67	48,02	20,04	12,01
19	1+807,92	1+835,11	1+862,29	Izquierda	103,85	38,29	30	54,37	47,23	18,64	11,50
20	1+905,96	1+947,04	1+988,12	Derecha	156,93	146,98	30	82,17	58,79	120,01	24,00
21	2+026,33	2+058,63	2+090,93	Izquierda	148,05	174,68	50	129,20	96,14	131,70	36,24

22	2+137,14	2+172,68	2+208,22	Derecha	135,75	73,79	30	71,08	55,58	49,66	18,70
23	2+250,75	2+284,95	2+319,16	Izquierda	130,65	65,29	30	68,41	54,52	41,86	17,47
24	2+320,64	2+349,31	2+377,98	Derecha	109,50	42,45	30	57,33	49,00	21,98	12,69
25	2+406,23	2+431,43	2+456,63	Izquierda	82,52	30,70	35	50,41	46,16	11,56	8,69
26	2+466,64	2+501,95	2+537,25	Derecha	115,59	55,57	35	70,61	59,23	30,67	16,35
27	2+539,61	2+570,41	2+601,20	Izquierda	117,61	49,55	30	61,58	51,33	27,92	14,46
28	2+642,16	2+666,05	2+689,93	Derecha	109,47	35,36	25	47,77	40,82	18,30	10,57
29	2+740,54	2+780,56	2+820,58	Izquierda	152,86	124,28	30	80,04	58,32	97,85	22,96
30	2+897,24	2+903,19	2+909,14	Izquierda	27,26	6,06	25	11,90	11,78	0,72	0,70
31	2+953,38	2+970,78	2+988,18	Derecha	19,94	17,58	100	34,81	34,63	1,53	1,51
32	3+054,61	3+062,03	3+069,46	Derecha	14,18	7,46	60	14,85	14,81	0,46	0,46
33	3+144,13	3+155,36	3+166,60	Izquierda	51,51	12,06	25	22,48	21,73	2,76	2,48
34	3+291,06	3+302,08	3+313,10	Derecha	25,26	11,20	50	22,04	21,86	1,24	1,21
35	3+375,85	3+393,67	3+411,50	Izquierda	68,09	20,27	30	35,65	33,59	6,21	5,14
36	3+442,77	3+465,80	3+488,83	Derecha	105,56	32,91	25	46,06	39,81	16,33	9,88
37	3+557,05	3+607,51	3+657,97	Izquierda	57,82	55,23	100	100,92	96,69	14,24	12,46
38	3+686,32	3+696,35	3+706,38	Izquierda	19,15	10,12	60	20,05	19,96	0,85	0,84
39	3+788,54	3+795,26	3+801,98	Derecha	7,70	6,73	100	13,44	13,43	0,23	0,23
40	3+872,96	3+887,34	3+901,72	Derecha	16,48	14,48	100	28,76	28,66	1,04	1,03
41	3+950,12	3+963,96	3+977,80	Izquierda	15,86	13,93	100	27,68	27,59	0,97	0,96
42	4+095,35	4+109,97	4+124,59	Derecha	16,76	14,73	100	29,24	29,14	1,08	1,07
43	4+180,44	4+196,67	4+412,90	Derecha	30,00	16,07	60	31,41	31,05	2,12	2,04
44	4+215,24	4+220,75	4+226,27	Izquierda	6,319	5,520	100	11,03	11,02	0,152	0,15
45	4+303,31	4+309,87	4+316,44	Izquierda	7,519	6,571	100	13,12	13,11	0,216	0,22
46	4+353,59	4+362,46	4+371,32	Izquierda	10,155	8,885	100	17,72	17,7	0,394	0,39
47	4+412,53	4+482,75	4+552,96	Izquierda	40,228	73,245	200	140,4	137,6	12,99	12,2

### 2.5.10.2. Peralte

Es la pendiente máxima transversal que debe inclinarse la sección transversal de una carretera, esta inclinación se presenta justamente en los sectores donde esta emplazadas las curvas horizontales. La consideración de este peralte se realiza con la finalidad de

contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo en movimiento en las curvas.

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. Los valores recomendados para el peralte se indican en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 24: Radios Mínimos Absolutos en Curvas Horizontales**

<b>Caminos Colectores – Locales - Desarrollo</b>			
<b>Vp</b>	<b>emáx</b>	<b>f</b>	<b>Rmín</b>
<b>Km/h</b>	<b>(%)</b>		<b>(m)</b>
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 Carreteras vol.1. Administradora Boliviana de Carreteras

*El peralte será el máximo 7%, debido a la topografía de la zona.*

El peralte se calcula a través de la siguiente formula:

$$e = \frac{V^2}{2.26 * R}$$

**Cuadro N° 25: Peraltes para el Radio y por Encima del Mínimo**

N°	R (m)	Peralte	
		(m/m)	(%)
1	25	0	0
2	25	0	0
3	25	0	0
4	25	0	0
5	30	0,039	3,89
6	25	0	0
7	30	0,039	3,89
8	30	0,039	3,89
9	30	0,039	3,89
10	30	0,039	3,89
11	25	0	0
12	25	0	0
13	35	0,057	5,71
14	35	0,057	5,71
15	35	0,057	5,71
16	30	0,039	3,89
17	25	0	0
18	30	0,039	3,89
19	30	0,039	3,89
20	30	0,039	3,89
21	50	0,07	7
22	30	0,039	3,89
23	30	0,039	3,89

N°	R (m)	Peralte	
		(m/m)	(%)
24	30	0,039	3,89
25	35	0,057	5,71
26	35	0,057	5,71
27	30	0,039	3,89
28	25	0	0
29	30	0,039	3,89
30	25	0	0
31	100	0,053	5,25
32	60	0,068	6,81
33	25	0	0
34	50	0,07	7
35	30	0,039	3,89
36	25	0	0
37	100	0,053	5,25
38	60	0,068	6,81
39	100	0,053	5,25
40	100	0,053	5,25
41	100	0,053	5,25
42	100	0,053	5,25
43	60	0,068	6,81
44	100	0,053	5,25
45	100	0,053	5,25
46	100	0,053	5,25
47	200	0,031	3,06

### 2.5.10.3. Coeficiente de Fricción Transversal

Los valores del coeficiente de fricción transversal, que actúa entre los neumáticos y el pavimento, no es constante, sino que varía según la velocidad del vehículo y depende de varios factores, como por ejemplo si el pavimento está húmedo; la presión del inflado de los vehículos, la carga que transporta, la temperatura, etc.

Si estos coeficientes no son superados, proporcionan la seguridad de que no se producirá un desplazamiento del vehículo y de que el conductor como los pasajeros, no tendrán sensaciones de incomodidad, cuando el vehículo circule por la curva.

Para determinar el valor del coeficiente de fricción transversal, la norma AASHTO lo determina mediante las siguientes formulas:

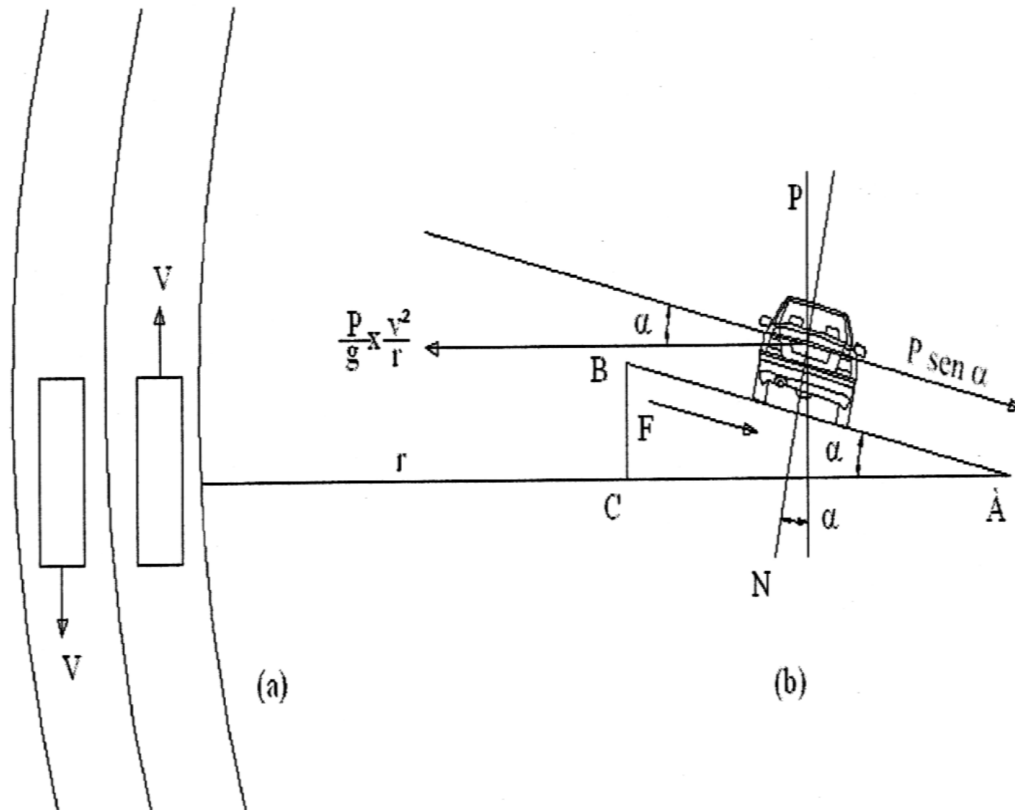
$$f = 0,265 - \frac{V}{602,4}$$

f : Coeficiente de Fricción Transversal (Adimensional)

V : Velocidad de Proyecto Vp (km/h)

*El coeficiente de fricción calculado es de 0,215.*

Figura N° 5: Fricción Transversal



Fuente: Manual de Carreteras Vol.1. Administradora Boliviana de Carreteras

#### 2.5.10.4. Radios Mínicos de Curvas Circulares Horizontales

Una vez fijados el peralte y el coeficiente de fricción transversal, el radio mínimo de la curva circular horizontal se calcula con el criterio de seguridad al deslizamiento, según la norma AASHTO responde a la siguiente expresión:

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

Donde:

**R min** : Radio Mínimo Absoluto

**V p** : Velocidad Proyecto (km/h)

**e máx.**: Peralte Máximo correspondiente a la Carretera o el Camino (m/m)

**f** : Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a Vp.

El uso de radios menores que los mínimos exigirá el empleo de peraltes mayores que los considerados prácticos o la estimación de coeficientes de rozamientos tan altos que comprometan los límites de seguridad.

*El radio mínimo calculado en el proyecto es de 25m.*

### 2.5.10.5. Sobreancho en Curvas Circulares

El cálculo detallado del sobreancho 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. Los resultados obtenidos quedan bien representados por las expresiones simplificadas que se presentan en el cuadro:

**Cuadro N° 26: Ensanche de Calzadas en Caminos con Vp ≤ 60 km/h**

TIPO DE VEHÍCULO (Lt en m)	PARÁMETRO DE CÁLCULO (m)	E (m)	e.int (m)	e.ext (m)	RADIOS LÍMITE (m)
Camión Unid. Simple Lt=11,0* Bus Corriente Lt=12,0	Lo = 9,5	$(Lo^2/R) - 0,85$	0,55 E	0,45 E	$25 \leq R \leq 75$
Bus de Turismo Lt=13,2* Bus de Turismo Lt=14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	$(Lo^2/R) - 0,85$	0,55 E	0,45 E	$30 \leq R \leq 95$
Semitrailer Lt=16,4 Semitrailer Lt=18,6*	L1 = 5,6 L2 =10,0 L1 = 5,6 L2 = 12,2	$((L1^2 + L2^2)/R) - 0,80$ $((L1^2 + L2^2)/R) - 0,80$	0,55 E 0,55 E	0,45 E 0,45 E	$35 \leq R \leq 115$ $50 \leq R \leq 155$
Semitrailer Lt=22,4*	No corresponde a Caminos con Vp ≤ 60 Km/h				

Fuente: Manual de Carreteras Vol.1. Administradora Boliviana de Carreteras

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

De acuerdo al Cuadro N° 26, se calcula el sobreancho a través de la siguiente formula:

$$E = \left( \frac{Lo^2}{R} \right) - 0.85$$

$$e_{int} = 0.55 * E$$

$$e_{ext} = 0.45 * E$$

$$e_{int} \leq 0.35 \Rightarrow e_{ext} = 0 \wedge E = e_{int}$$

Dónde:

**E** : Sobreancho en Curva

**Lo** : Distancia de Parachoques delantero y ultimo eje trasero

**R** : Radio de la Curva

**e int** : Ensanche interior (55% de Sobreancho)

**e ext** : Ensanche exterior (45% de Sobreancho)

**Cuadro N° 27: Sobreancho en Curvas Horizontales**

Curva N°	Radio	E	e int	e ext	Sentido
1	25	2,760	1,518	1,242	Izquierda
2	25	2,760	0,350	1,242	Derecha
3	25	2,760	1,518	1,242	Izquierda
4	25	2,760	1,518	1,242	Derecha
5	30	2,158	1,187	0,971	Derecha
6	25	2,760	1,518	1	Izquierda
7	30	2,158	0,350	0,971	Derecha
8	30	2,158	1,187	0,971	Izquierda
9	30	2,158	1,187	0,971	Izquierda
10	30	2,158	0,350	0,971	Izquierda
11	25	2,760	1,518	1	Derecha
12	25	2,760	0,350	1,242	Izquierda
13	35	1,729	0,951	0,778	Izquierda
14	35	1,729	0,951	0,778	Derecha
15	35	1,729	0,951	0,778	Derecha
16	30	2,158	1,187	0,971	Izquierda
17	25	2,760	1,518	1,242	Derecha
18	30	2,158	1,187	0,971	Izquierda
19	30	2,158	1,187	0,971	Izquierda
20	30	2,158	0,350	0,971	Derecha
21	50	0,955	0,525	0,430	Izquierda
22	30	2,158	1,187	0,971	Derecha
23	30	2,158	1,187	0,971	Izquierda
24	30	2,158	0,350	0,971	Derecha
25	35	1,729	0,350	0,778	Izquierda
26	35	1,729	0,951	0,778	Derecha
27	30	2,158	1,187	0,971	Izquierda
28	25	2,760	1,518	1,242	Derecha
29	30	2,158	1,187	0,971	Izquierda
30	25	2,760	1,518	1,242	Izquierda
31	100	0,053	0,053	0,000	Derecha
32	60	0,654	0,654	0,000	Derecha

33	25	2,760	0,350	1,242	Izquierda
34	50	0,955	0,350	0,430	Derecha
35	30	2,158	1,187	0,971	Izquierda
36	25	2,760	1,518	1,242	Derecha
37	100	0,053	0,350	0,000	Izquierda
38	60	0,654	0,654	0,000	Izquierda
39	100	0,053	0,350	0,000	Derecha
40	100	0,053	0,350	0,000	Derecha
41	100	0,053	0,350	0,000	Izquierda
42	100	0,053	0,350	0,000	Derecha
43	60	0,654	0,350	0,000	Derecha
44	100	0,053	0,350	0,000	Izquierda
45	100	0,053	0,350	0,000	Izquierda
46	100	0,053	0,350	0,000	Izquierda
47	200	0,399	0,399	0,000	Izquierda

### 2.5.11. Parámetros del Diseño del Alineamiento Vertical

A continuación se describen los parámetros que se consideraron para el diseño de curvas verticales.

#### 2.5.11. 1. Pendiente Longitudinal Máxima

La selección de las pendientes longitudinales máximas está relacionada con la categoría de la vía, que se refleja directamente con el volumen y composición del tráfico previsto, la importancia de la carretera. La topografía de la franja de trazado y la altura del terreno con respecto al nivel medio del mar.

Por convención se indicará que las pendientes longitudinales ascendentes serán de signo positivo y las pendientes descendentes serán de signo negativo.

**Cuadro N° 28: Pendientes Máximas Admisibles**

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

Fuente: Manual de Carreteras vol.1. Administradora Boliviana de Carreteras

*La pendiente máxima longitudinal es de 11,97%.*

### **2.5.11.2. Pendiente Longitudinal Mínima**

La elección de pendientes mínimas se realiza con el objeto de asegurar el drenaje de las aguas superficiales sobre la calzada.

Por lo general, es deseable que la carretera tenga una pendiente longitudinal mínima de 0.5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales.

Se distinguirán los siguientes casos:

- Si la calzada posee un bombeo o inclinación transversal de 2% y no existen soleras o cunetas, se podrá excepcionalmente aceptar pendientes longitudinales de hasta 0,2%.
- Si el bombeo es de 2,5% excepcionalmente se podrán aceptar pendientes longitudinales iguales a cero.
- Si al borde del pavimento existen soleras la pendiente longitudinal mínima deseable será de 0,5% y mínima absoluta 0,35%.
- En zonas de transición de peralte en que la pendiente transversal se anula, la pendiente longitudinal mínima deberá ser de 0,5% y en lo posible mayor.

*La pendiente mínima excepcional en el proyecto es de 0.5%.*

### 2.5.11.3. Curvas Verticales

Las curvas verticales producen un cambio gradual de la inflexión entre dos rasantes rectilíneas contiguas de distinta pendiente, generalmente la curva vertical obedece a una parábola de segundo grado, debido a que se obtiene una variación uniforme de la pendiente y a que ofrece facilidades al momento de ejecutar el replanteo en el tramo de diseño.

Las curvas verticales fueron proyectadas en cada caso siempre y cuando la diferencia entre pendientes sea mayor al 0.5%, proyectando parábolas de segundo grado. Ya que así se obtiene una variación uniforme de la pendiente y ofrece facilidades al momento de hacer el replanteo del diseño del camino.

En las curvas verticales se pueden distinguir los siguientes elementos:

**El ángulo de deflexión entre dos rasantes que se cortan se definió por la siguiente ecuación:**

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

$\theta$  se calcula como valor absoluto de la diferencia de pendientes de entrada y salida (m/m)

**El desarrollo de la curva de enlace se identifica con la siguiente ecuación:**

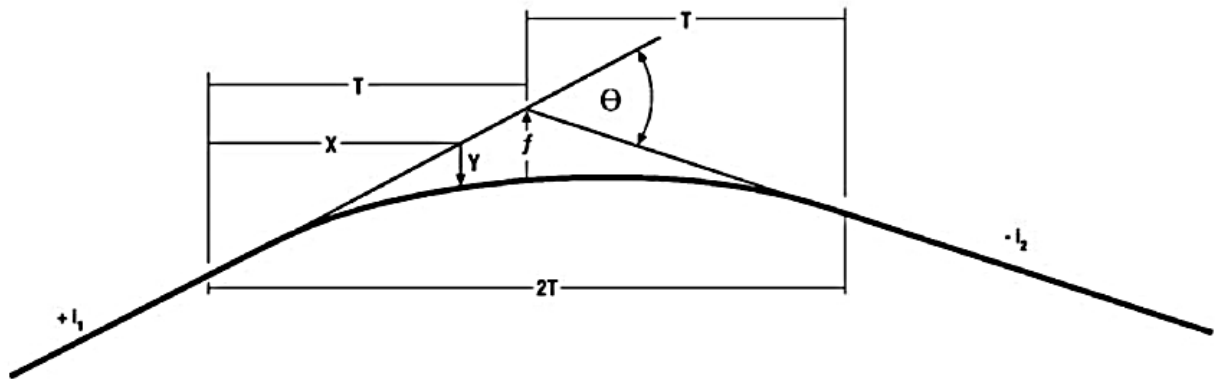
$$Lv = 2 * T$$

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

**La longitud de la curva de enlace queda dada por:**

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

Figura N° 6: Partes de una Curva Vertical



$$\theta = |i_1 - i_2|$$

$$2T = K \cdot \theta$$

$$f = \frac{T^2}{2K} = \frac{T \cdot \theta}{4}$$

$$Y = \frac{X^2}{2K} = \frac{f}{T^2} \cdot X^2$$

$i_1$  e  $i_2$   
Con su signo y  
Expresado en por uno

Fuente: Manual de Carreteras vol.1. Administradora Boliviana de Carreteras

Las curvas verticales se diseñaron de acuerdo, que aseguren en todo punto del camino la visibilidad de frenado.

Por condición de comodidad y estética la norma (A.B.C.) establece la longitud mínima de las curvas verticales:

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

Donde:

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

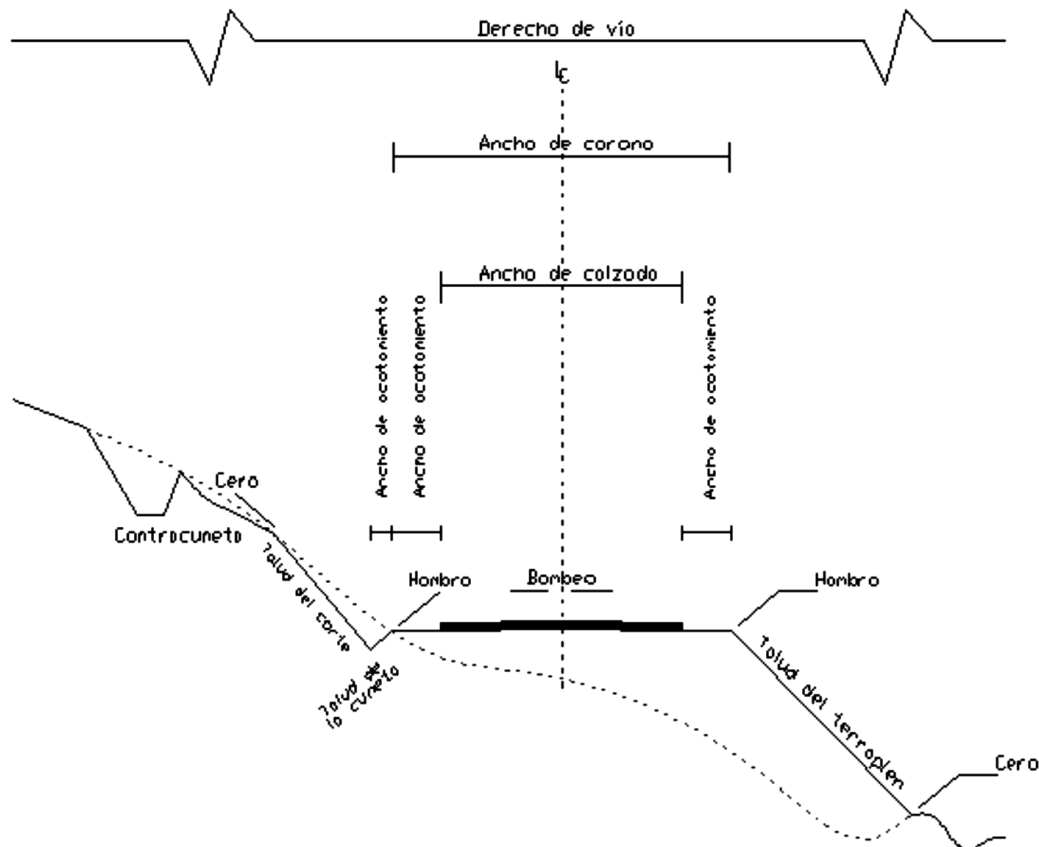
**Vp** : Velocidad de proyecto (km/h)

**Cuadro N° 29: Curvas Verticales**

<b>Curva Cóncava</b>								
1	Estacion (m)		Elevación	i1	i2	$\theta$	K	2T
	PVC:	1+318.19	1,992.587m	-8.37%	-11.97%	3.60%	8.33	30.000m
	PVI:	1+322.81	1,922.200m					
	PVT:	1+327.43	1,991.646m					
<b>Curva Convexa</b>								
2	PVC:	3+284.78	1,757.314m	-11.97%	-9.72%	2.25%	17.76	40.000m
	PVI:	3+304.78	1,754.920m					
	PVT:	3+324.78	1,752.976m					
<b>Curva Convexa</b>								
3	PVC:	3+470.00	1,738.860m	-9.72%	-5.00%	4.72%	21.19	100.000m
	PVI:	3+520.00	1,734.000m					
	PVT:	3+570.00	1,731.500m					
<b>Curva Cóncava</b>								
4	PVC:	3+695.00	1,725.250m	-5.00%	-8.97%	3.97%	12.59	50.000m
	PVI:	3+720.00	1,724.00m					
	PVT:	3+745.00	1,721.757m					
<b>Curva Convexa</b>								
5	PVC:	3+891.80	1,708.587m	-8.97%	2.54%	11.51%	4.34	50.000m
	PVI:	3+916.80	1,706.344m					
	PVT:	3+941.80	1,706.978m					
<b>Curva Cóncava</b>								
6	PVC:	4+023.22	1,709.044m	2.54%	-4.82%	2.28%	6.79	50.000m
	PVI:	4+048.22	1,709.679m					
	PVT:	4+073.22	1,708.474m					
<b>Curva Convexa</b>								
7	PVC:	4+226.18	1,701.099m	-4.82%	-0.73%	4.09%	7.34	30.000m
	PVI:	4+241.18	1,700.376m					
	PVT:	4+256.18	1,700.266m					
<b>Curva Cóncava</b>								
8	PVC:	4+360.00	1,699.506m	-0.73%	-9.10%	8.37%	9.56	80.000m
	PVI:	4+400.00	1,699.213m					
	PVT:	4.440.00	1,695.571m					
<b>Curva Convexa</b>								
9	PVC:	4+482.93	1,691.662m	-9.10%	4.73%	4.37%	3.61	50.000m
	PVI:	4+507.93	1,689.386m					
	PVT:	4+532.93	1,690.569m					
<b>Curva Convexa</b>								
10	PVC:	4+620.00	1,694.689m	4.73%	0.5%	4.23%	17.80	75.000m
	PVI:	4+660.00	1,696.582m					
	PVT:	4+700.00	1,696.677m					

### 2.5.12. Características de la Sección Transversal

Figura N° 7: Características de la Sección Transversal



Los parámetros que se determinan para una sección transversal de una carretera dependen del tipo de carretera y del tráfico que circula, estos elementos influyen en características operativas, estéticas y de seguridad que se adopten para la misma.

Cuadro N° 30: Características del Ancho de Plataforma

NUMERO DE CALZADAS Y CATEGORIA	VELOCIDAD PROYECTO (km/h)	ANCHO PISTAS "a" (m) (1)	ANCHO BERMAS		ANCHO SAP (3)		ANCHO CANTERO CENTRAL - M (m)			ANCHO TOTAL DE PLATAFORMA A NIVEL DE RASANTE <sup>(2)</sup> ATP = na + 2(ba + Sa) + M <sup>final</sup>			
			"b"	"ba"	"S"	"Sa"	INICIAL 4 PISTAS AMPLIABLE a 6	FINAL 6 PISTAS	FINAL = INICIAL 4 PISTAS	6 PISTAS Y 4 AMPLIABLE	4 PISTAS	2 PISTAS	
			INTERIOR (m)	EXTERIOR (m)	INTERIOR (m)	EXTERIOR (m)							
CALZADAS UNIDIRECCIONALES	AUTOPISTA	120	3,5	1,2	2,5	0,5 - 0,8	1,5	13,0	6,0	6,0	35	28	-
		100	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	-
		80	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	0,8	11,0	4,0	4,0	31,6	24,6	-
	PRIMARIO Y AUTORRUTA	100	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	-
		90	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	12,0	5,0	5,0	33	26	-
		80	3,5	1,0	2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 <sup>(4)</sup>	10,0	3,0	3,0 <sup>(4)</sup>	29	22	-
	COLECTOR	80	3,5	1,0	2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 <sup>(4)</sup>	10,0	3,0	3,0 <sup>(4)</sup>	29	22	-
		70	3,5	0,6 - 0,70	1,5	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 <sup>(4)</sup>	9,0	2,0	2,0 <sup>(4)</sup>	27	20	-
		60	3,5	0,6 - 0,70	1,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 <sup>(4)</sup>	9,0	2,0	2,0 <sup>(4)</sup>	26	19	-
CALZADA BIDIRECCIONAL	PRIMARIO	100 - 90	3,5	-	2,5	-	1,0	-	-	-	-	-	14,0
		80	3,5	-	2,0	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	12,0
	COLECTOR	80	3,5	-	1,5	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	11,0
		70	3,5	-	1,0 - 1,5 <sup>(2)</sup>	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	10 - 11,0
	LOCAL DESARROLLO	60	3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0 <sup>(2)</sup>	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	8,0 - 10,0
		50	3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0 <sup>(2)</sup>	-	0,5	-	-	-	-	-	8,0 - 10,0
		40	3,0	-	0,0 - 0,5 <sup>(2)</sup>	-	0,5	-	-	-	-	-	7,0 - 8,0
		30	2,0 - 3,0	-	0,0 - 0,5 <sup>(2)</sup>	-	0,5	-	-	-	-	-	5,0 - 6,0

Fuente: Manual de Carreteras vol.1. Administradora Boliviana de Carreteras

*El ancho de la sección transversal adoptado de acuerdo al tipo de camino y a la velocidad de proyecto, es de 6.00 m*

### 2.5.12.1. Ancho del Carril

El ancho de carriles de circulación proviene del ancho del vehículo tipo más un sobre ancho de seguridad; este ancho de seguridad está condicionado por la velocidad directriz la categoría de la vía y del sentido de circulación. La Administradora Boliviana de Carreteras establece un ancho mínimo de 3.5 m por carril.

*El ancho de Carril de diseño para el proyecto es de 2.5m, considerando que se trata de un camino de Desarrollo Bidireccional, como se muestra en el Cuadro N°30.*

### **2.5.12.2. Ancho de Berma**

Las bermas son elementos que forman parte de la sección transversal de la vía, ya que cumple con las siguientes funciones fundamentales:

- Estimular a los conductores para que utilicen el ancho total de los carriles de circulación, adyacentes a las bermas.
- Proteger al pavimento de las erosiones provocadas por las condiciones climáticas.

Los anchos normales de las bermas se dan en el Cuadro N° 30, asociados a la categoría de la ruta y Vp correspondiente, según esta el ancho de berma es 0,5m.

*El ancho de berma sera de 0,5m.*

### **2.5.12.3. Sobreancho de Plataforma (SAP)**

La plataforma en terraplén tendrá siempre un SAP mínimo de 0,5m 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.

*El sobreancho de plataforma (SAP) será de 0,5m.*

### **2.5.12.4. Pendiente Transversal de la Calzada**

El objetivo principal que la calzada tenga una pendiente transversal, es el de asegurar un adecuado escurrimiento de las aguas superficiales, con el propósito de evitar que la infiltración afecte la estructura del pavimento y para disminuir la formación de láminas de agua que pueda ser peligrosos durante la circulación de los vehículos.

Las pendientes transversal de la calzada puede diseñarse en dos forma básica: como una sección compuesta por sentidos de la pendiente con el punto más alto situado en el centro de la calzada (tramo recto) o como una sección con pendiente única en un solo sentido (tramo curvos). La elección de la pendiente transversal (bombeo), está en función a los siguientes parámetros:

**Cuadro N° 31: Pendiente Transversal de la Calzada (%)**

TIPO DE PAVIMENTO	ZONA SECA	ZONA HUMEDA
Pavimento de Hormigón o Asfalto	2,0	2,5
Tratamiento Superficial	3,0	3,5
Tierra, Grava, Chancado	3,0 – 3,5 <sup>(1)</sup>	3,5 – 4,0

(1) En climas definitivamente desérticos, se pueden rebajarlos bombeos hasta un valor de 2,5%

Fuente: Manual de Carreteras vol.1. Administradora Boliviana de Carreteras

***La pendiente transversal determinada en el proyecto es de 2,5 %, el área de proyecto abarca una zona húmeda.***

#### **2.5.12.5. Taludes en Terraplén**

Cuando un camino se emplaza en terraplén, los materiales deben provenir de las excavaciones hechas en otros puntos del trazado. Por lo general se podrá anticipar la inclinación máxima admisible en función de la altura de los terraplenes.

El diseño de taludes de terraplén, se encuentran en función del tipo de material que constituye el suelo.

En cuanto al talud de terraplén se adoptó 1:1 (H:V) estos taludes son estables para todos los tipos de suelos del tramo, fueron establecidos en consideración al factor de seguridad de operación de los vehículos, es decir que cuando un vehículo que se salga de la plataforma puede descender sin volcarse minimizando el accidente.

La altura máxima de Terraplén es de 4 m.

#### **2.5.12.6. Taludes en Corte**

La inclinación de los taludes del corte variara a lo largo de la obra según la calidad y estratificación de los suelos encontrados.

Las inclinaciones pueden ser únicas o variar a lo largo del camino.

De acuerdo al recorrido por la zona, el talud único que predominara en la carretera es de 1:3 (H:V), debido a que el corte se presenta en zonas con presencia de arcilla consolidada (laja).

La altura máxima de Talud en corte es de 40 m, a lo largo de 23 m. aproximadamente.

#### **2.5.13. Derecho de Vía**

Consiste en la franja de terreno a cada lado de la vía, de 50 metros, medida en horizontal y perpendicularmente a partir del eje de la carretera. Establecido de acuerdo a la A.B.C.

*El Derecho de Vía para el Diseño será de 15 metros, considerando que proyecto se emplaza en una zona rural, tratándose de un camino de Desarrollo.*

**Cuadro N° 32: Resumen de las Características de Diseño Geométrico**

<b>Parámetros de Diseño</b>	
<b>Velocidad de Diseño</b>	30 km/h
<b>Categoría</b>	Camino de Desarrollo
<b>Carriles</b>	2 (Bidireccional)
<b>Tipo de Terreno</b>	Ondulado Fuerte a Montañoso
<b>Distancia de Frenado</b>	25 m.
<b>Distancia de Adelantamiento</b>	180 m.
<b>Radio Mínimo de Curvatura</b>	25 m.
<b>Peralte Máximo</b>	7%
<b>Coef. De Fricción Transversal</b>	0,215
<b>Pendiente Máxima</b>	11,97%
<b>Pendiente Mínima</b>	0,5%
<b>Pendiente Transversal</b>	2,50%
<b>Talud en Terraplén</b>	(1:1)
<b>Talud en Corte</b>	(1:3)
<b>Ancho de Carril</b>	2,5 m.
<b>Ancho de Berma</b>	0,5 m.
<b>Sobrecancho SAP</b>	0,5 m.

Fuente: Elaboración Propia

## **2.6. DISEÑO HIDRAULICO DE OBRAS DE ARTE**

### **2.6.1 Cunetas**

Son las estructuras destinadas a recoger el agua que escurre de la superficie del camino debido al bombeo así como la que escurre por los taludes de los cortes.

Las cunetas son zanjas que se localizan a la orilla del camino en los cortes. Desaguan en alcantarillas o por medio de canales de salida.

La localización de cunetas no ofrece ningún problema especial. La forma y sus dimensiones de ellas dependen de la cantidad que escurre y del ancho del camino.

### 2.6.1.1 Coeficiente de Escorrentía

Los coeficientes de escorrentía dependen de las características del terreno, uso y manejo de suelo, condiciones de influencia de infiltración, etc. Y se precisó un criterio técnico adecuado para la seleccionar un valor. A continuación tenemos un cuadro donde se tabula estos coeficientes en función a las características del suelo.

**Cuadro N° 33: Coeficiente de Escurrimiento**

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

Fuente: A.B.C.

Entonces se determina:

$$C=0.2$$

### 2.6.1.2 Área de Aporte

El área de drenaje o de aporte para el cual se debe proyectar el canal, está sujeta a la calzada de la carretera y a las laderas adyacentes a la cuneta

Cuadro N° 34: Áreas de Aporte

AREAS DE APORTE										
PROGRESIVA		LADO	BERMA			CALZADA			Área de Aporte (m <sup>2</sup> )	AREA TOTAL DE APORTE (m <sup>2</sup> )
DE	A	I-D	a(m)	L (m)	A (m <sup>2</sup> )	a (m)	L(m)	A (m <sup>2</sup> )		
0+000	0+620	I-D	0,5	620	310	2,5	620	1550	12874	14734
0+640	0+740	I-D	0,5	100	50	2,5	100	250	1500	1800
0+750	1+330	I-D	0,5	580	290	2,5	580	1450	6674	8414
1+340	1+700	I-D	0,5	360	180	2,5	360	900	1132	2212
1+740	2+690	I-D	0,5	900	450	2,5	900	2250	13104	15804
2+700	2+820	I-D	0,5	120	60	2,5	120	300	1800	2160
2+860	3+000	I-D	0,5	140	70	2,5	140	350	12125	12545
3+000	3+200	I-D	0,5	200	100	2,5	200	500	8739	9339
3+200	3+350	I-D	0,5	150	75	2,5	150	375	11568	12018
3+350	3+500	I-D	0,5	150	75	2,5	150	375	10096	10546
3+500	3+780	I-D	0,5	280	140	2,5	280	700	12044,8	12884,8
3+790	3+900	I-D	0,5	110	55	2,5	110	275	3144	3474
3+900	4+100	I-D	0,5	200	100	2,5	200	500	13258	13858
4+100	4+300	I-D	0,5	200	100	2,5	200	500	12476	13076
4+400	4+500	I-D	0,5	100	50	2,5	100	250	2301	2601

Fuente: Elaboración Propia

### 2.6.1.3 Estimación de Caudales Máximos

Con los valores de coeficiente de escurrimiento (C), intensidades de precipitación (I), y áreas de aportación, con lo que se procederá al cálculo de los caudales mediante el Método Racional.

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Dónde:

**C** : Coeficiente de Escorrentía.

**I** : Intensidad Máxima, (mm/hr.)

**A** : Área de la Cuenca (km<sup>2</sup>)

**Q** : Caudal Máximo (m<sup>3</sup>/s)

**Cuadro N° 35: Caudal de Aporte para cunetas**

DETERMINACION DEL CAUDAL DE APORTE									
PROGRESIVA		LADO	AREA TOTAL DE APORTE (km <sup>2</sup> )	C	Pendiente S (%)	Long. L (m)	Tc (hr)	Intensidad I (mm/hr)	Q (m <sup>3</sup> /s)
DE	A	I-D							
0+000	0+400	I-D	0,01	0,20	8,37	620,00	0,17	333,05	0,273
0+640	0+740	I-D	0,00	0,20	8,37	100,00	0,17	333,05	0,033
0+750	1+330	I-D	0,01	0,20	8,37	580,00	0,17	333,05	0,156
1+340	1+700	I-D	0,00	0,20	11,97	360,00	0,17	333,05	0,041
1+740	2+690	I-D	0,02	0,20	11,97	900,00	0,17	333,05	0,292
2+700	2+820	I-D	0,00	0,20	11,97	120,00	0,17	333,05	0,040
2+860	3+000	I-D	0,01	0,20	9,72	140,00	0,17	333,05	0,232
3+000	3+200	I-D	0,01	0,20	9,72	200,00	0,17	333,05	0,173
3+200	3+350	I-D	0,01	0,20	9,72	150,00	0,17	333,05	0,222
3+350	3+500	I-D	0,01	0,20	9,72	150,00	0,17	333,05	0,195
3+500	3+780	I-D	0,01	0,20	5,00	280,00	0,17	333,05	0,238
3+790	3+900	I-D	0,00	0,20	8,97	110,00	0,17	333,05	0,064
3+900	4+100	I-D	0,01	0,20	2,54	200,00	0,17	333,05	0,256
4+100	4+300	I-D	0,01	0,20	4,82	200,00	0,17	333,05	0,242
4+400	4+500	I-D	0,00	0,20	9,10	100,00	0,17	333,05	0,048

Fuente: Elaboración Propia

#### 2.6.1.4. Criterio de Diseño de Cuneta

Las dimensiones, la pendiente y otras características de las cunetas, se determinan mediante el flujo que va a escurrir por las mismas. Las cunetas generalmente se construyen de sección transversal triangular o trapezoidal y su diseño se basa en los principios del flujo en los canales abiertos.

En este proyecto se optó por el diseño de cunetas Triangulares debido que se erosiona menos y tiene un proceso de construcción más fácil.

Las pendientes longitudinal mínimas recomendables son de 0.25 % para medianas de tierra. Cuando las velocidades son excesivas para las condiciones del terreno se deberá tomar precaución para evitar la erosión.

#### 2.6.1.5. Velocidades Máximas Admisibles en Cunetas no 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:

**Cuadro N° 36: Velocidades por Tipo de Revestimiento**

Revestimiento	Velocidad Permisible (m/seg.)
Tierra sin vegetación	0.305 a 0.61
Arena, arcilla poca o ninguna	0.61 a 0.915
Arcilla dura	1.22
Arcilla muy coloidal	1.22
Arcilla y grava	1.22
Grava	1.22

Fuente: A.B.C.

La velocidad mínima para evitar sedimentación es de 0.25 m/s.

### 2.6.1.6. Talud Interior de Cunetas

El talud o pared interior de la cuneta se inicia en el punto extremo de la plataforma o borde exterior del SAP si la cuneta no tiene revestimiento, y en el borde exterior de la berma si la cuneta lleva revestimiento, y se desarrolla, bajando con una cierta inclinación, hasta interceptar la plataforma de subrasante. La inclinación mencionada dependerá, por condiciones de seguridad, de la Velocidad de Proyecto de la carretera o camino.

**Cuadro N° 37: Talud interior de Cunetas**

Vp km/h	pic m/m	V:H 1 : nci
≤ 70	0,50	1 : 2
80 – 90	0,40	1 : 2,5
100	0,33	1 : 3
120	0,25	1 : 4

Fuente: A.B.C.

### 2.6.1.7. Dimensionamiento de la Cuneta

Para dimensionar las cunetas se realizó la comprobación del tirante y la velocidad critica mediante el programa **Hcanales 3.0**.

Formula de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * \left( \frac{A^5}{P^2} \right)^{\frac{1}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

**Q** : Caudal, método racional (m/s)

**A** : Area (m<sup>2</sup>)

**S** : Pendiente (m/m)

**P** : Perímetro (m)

**n** : Coeficiente de rugosidad, adimensional.

**Cuadro N° 38: Coeficiente de Rugosidad para materiales usados en alcantarillas**

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

Fuente: A.B.C.

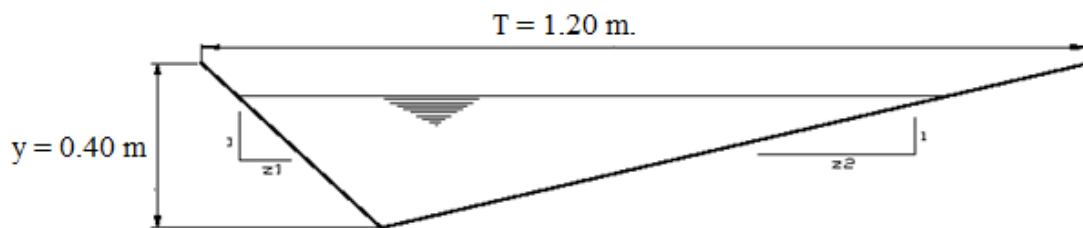
**Cuadro N° 39: Dimensionamiento de Cunetas**

DIMENSIONAMIENTO DE CUNETAS									
PROGRESIVA		LADO	Q (m <sup>3</sup> /s)	Tirante y (m)	Coef. De Rugosidad	Inclinación de paredes		Pendiente Long. S (%)	Velocidad V (m/s)
DE	A	I-D				Z1	Z2		
0+000	0+620	I-D	0,273	0,24	0,02	1,00	2,00	8,37	3,16
0+640	0+740	I-D	0,033	0,10	0,02	1,00	2,00	8,37	2,22
0+750	1+330	I-D	0,156	0,20	0,02	1,00	2,00	8,37	2,59
1+340	1+700	I-D	0,041	0,11	0,02	1,00	2,00	11,97	2,25
1+740	2+690	I-D	0,292	0,23	0,02	1,00	2,00	11,97	3,69
2+700	2+820	I-D	0,040	0,10	0,02	1,00	2,00	11,97	2,66
2+860	3+000	I-D	0,232	0,22	0,02	1,00	2,00	9,72	3,20
3+000	3+200	I-D	0,173	0,21	0,02	1,00	2,00	9,72	2,61
3+200	3+350	I-D	0,222	0,22	0,02	1,00	2,00	9,72	3,06
3+350	3+500	I-D	0,195	0,22	0,02	1,00	2,00	9,72	2,69
3+500	3+780	I-D	0,238	0,25	0,02	1,00	2,00	5,00	2,54
3+790	3+900	I-D	0,064	0,14	0,02	1,00	2,00	8,97	2,19
3+900	4+100	I-D	0,256	0,28	0,02	1,00	2,00	2,54	2,18
4+100	4+300	I-D	0,242	0,23	0,02	1,00	2,00	4,82	3,05
4+400	4+500	I-D	0,048	0,12	0,02	1,00	2,00	9,10	2,23

Fuente: Elaboración Propia.

Entonces el dimensionamiento de la cuneta será:

**Figura N° 8: Dimensiones Cuneta**



Fuente: Elaboración Propia

### 2.6.2. Alcantarillas de Alivio

Son estructuras destinadas a recibir el agua de las cunetas. El diámetro para alcantarillas en los caminos de desarrollo deberá ser al menos 1m como mínimo.

Cuando un camino cuenta con cunetas muy largas debido a que va bordeando una loma o ladera, por ejemplo es muy conveniente aliviar la cuneta por lo menos cada 100 m., mediante el empleo de una alcantarilla.

Para el diseño hidráulico se determinó los siguientes aspectos: material de las alcantarillas de alivio, pendiente longitudinal de la alcantarilla de alivio, tirante igual al 60% del diámetro y una velocidad máxima de 5 m/s.

Finalmente el diámetro de las alcantarillas de alivio fue determinado mediante la ecuación de Manning:

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

- Q** : El caudal de diseño será el caudal calculado para las cunetas.
- S** : Pendiente, (m/m). No menor a 0.5% para evitar sedimentación. Pendientes mayores a 5% se harán diseños especiales. Se recomienda un 2%.
- n** : Rugosidad según el tipo de material de la alcantarilla.

Debido a que el tubo trabaja al 0,60 del diámetro ( $y = 0,6 d$ ):

$$A = \frac{d^2}{8} (\theta_R - \text{Sen } \theta)$$

$$R = \frac{d}{4} \left( \frac{\theta_R - \text{Sen } \theta}{\theta_R} \right)$$

$$\theta = 2 \text{ Cos}^{-1} \left( 1 - \frac{2y}{d} \right)$$

$$\theta_R = \frac{\theta \pi}{180}$$

### 2.6.2.1 Dimensionamiento de la Alcantarilla de Alivio

Para dimensionar el diámetro de las alcantarillas se iteró con el programa HCANALES 3.0, basada con la fórmula de Manning.

**Cuadro N° 40: Alcantarillas de Alivio**

N°	Obra de Arte	Prog.	Caudal	Pendiente	Diámetro	Rugosidad	Tirante	Velocidad	Condición
			Q (m <sup>3</sup> /s)	S (m/m)	d (m)	n	y (m)	v (m/s)	y/d ≤ 0.6
1	Alc. Alivio 1	2+690	0,292	0,020	1,000	0,024	0,27	1,71	0,27
2	Alc. Alivio 2	3+350	0,222	0,020	1,000	0,024	0,23	1,58	0,23
3	Alc. Alivio 3	3+500	0,195	0,020	1,000	0,024	0,22	1,52	0,22
4	Alc. Alivio 4	4+100	0,256	0,020	1,000	0,024	0,25	1,65	0,25

Fuente: Elaboración Propia

El diámetro comercial para la alcantarilla será de 1m.

### 2.6.3. Alcantarillas de Cruce

Estas estructuras, tienen la función de direccionar el agua de alguna quebrada o cruce de agua que atraviesa el camino, pueden ser de tipo ARMCO, Cajón o Bóveda, dependiendo de la magnitud y comportamiento de la corriente de agua.

#### 2.6.3.1. Caudales de Diseño

El caudal de Diseño para las diferentes Alcantarillas de Cruce, se lo determino a través del método racional:

$$Q = \frac{C * i * A}{3.6}$$

Dónde:

**Q<sub>máx</sub>** : Caudal Máximo (m<sup>3</sup>/s)

**C** : Coeficiente de Escorrentías (0.2)

**I** : Intensidad Máxima(mm/h), para un periodo de retorno de 25 años.

**A** : Área de la Cuenca (Km<sup>2</sup>)

Según las especificaciones de los tubos tipo ARMCO, la pendiente será de 0.5% a 5% (se recomienda un 2%), y la velocidad máxima no tendrá que exceder de los 5 m/s, para evitar sedimentación y erosión.

**Cuadro 41: Caudal de Diseño para Alcantarillas de Cruce**

Unidad o Cuenca	Curso Principal	I (mm/hr)	Área (km <sup>2</sup> )	C	Q(m/s)
		T = 25			
1	Quebrada S/N 1	1454.201	0.01	0.2	1.15
2	Quebrada S/N 2	1015.013	0.05		2.81
3	Quebrada S/N 3	933.569	0.08		4.15
4	Quebrada S/N 4	549.391	0.31		9.46
5	Quebrada S/N 5	845.092	0.04		2.02
6	Quebrada S/N 6	903.131	0.10		4.92

**Fuente:** Elaboración propia

**Cuadro 42: Alcantarillas de Cruce**

N°	Obra de arte	Prog.	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	Pendiente S (m/m)	Diámetro (m)	Rugosidad n	Tirante y (m)	Velocidad v (m/s)	Condición y/d ≤ 0.6
1	Tubo Armco	1+700	1.149	0.02	1.00	0.024	0.57	2.47	0.6
2	Tubo Armco	3+000	2.808	0.02	1.50	0.024	0.77	3.09	0.5
3	Tubo Armco	3+200	4.148	0.03	1.50	0.024	0.86	3.96	0.6
4	Tubo Armco	3+781	9.462	0.03	2.00	0.024	1.19	4.86	0.6
5	Tubo Armco	3+900	2.019	0.02	1.50	0.024	0.63	2.84	0.4
6	Tubo Armco	4+300	4.917	0.03	1.50	0.024	0.96	4.11	0.6

**Fuente:** Elaboración Propia

## **2.7. DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL**

En este acápite se considera el procedimiento de diseño de las dos alternativas:

- a) Pavimento flexible (concreto asfáltico)
- b) Rapiado de Camino

### **2.7.1. Alternativa A: Pavimento Flexible**

#### **2.7.1.1. Diseño de Pavimentos Según Método Aashto Versión 1993**

##### **2.7.1.1.1. Variables que Intervienen en el Diseño**

###### **a) Confiabilidad “R”.**

Con el parámetro de Confiabilidad “R”, se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que la sección estructural que se obtenga, durará como mínimo el período de diseño. Se consideran posibles variaciones en las predicciones del tránsito en ejes acumulados y en el comportamiento de la sección diseñada.

El actual método AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles, recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 para el parámetro “R” de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales, notándose que los niveles más altos corresponden a obras que estarán sujetas a un uso intensivo, mientras que los niveles más bajos corresponden a obras o caminos locales.

El cuadro permite obtener los niveles adecuados de Confiabilidad (R) para diferentes tipos de vías, clasificadas por la AASHTO, según su grado de servicio.

**Cuadro N° 43: Niveles Recomendados de Confiabilidad (R)**

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Manual Aashto-93

Para el presente proyecto se ha adoptado **R=80%**

**b) Desviación estándar de las variables “ S<sub>o</sub>”**

La desviación estándar S<sub>o</sub>, toma en cuenta la variabilidad asociada con el diseño, construcción y comportamiento del pavimento.

La Guía AASHTO' 93 aconseja valores para la desviación estándar S<sub>o</sub>, desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el AASHO Road Test y en base a predicciones futuras de tránsito.

En el cuadro 43, se dan los valores recomendados por AASHTO' 93 para pavimentos flexibles.

**Cuadro N° 44: Valores recomendados para la Desviación Estándar (S<sub>o</sub>)**

Condición de Diseño	Desvío Estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34 pav. Rígidos
	0.44 pav. Flexibles
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39 pav. Rígidos
	0.49 pav. Flexibles

Fuente: Manual Aashto-93

Para el presente proyecto se ha adoptado un valor de **S<sub>o</sub> =0.49**

**c) Pérdida de serviciabilidad de diseño “ $\Delta$ PSI”.-**

La serviciabilidad es la capacidad de un pavimento para servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño de pavimentos se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La serviciabilidad inicial  $P_o$  es función del diseño del pavimento y de la calidad de construcción. La serviciabilidad final o terminal  $P_t$  es función de la categoría del camino y es adoptada en base a esta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados por la AASHTO 93 están indicados a continuación:

Serviciabilidad Inicial

$$P_o = 4,5 \text{ para Pavimentos Rígidos}$$

$$P_o = 4,2 \text{ para Pavimentos Flexibles}$$

Serviciabilidad terminal:

$$P_t = 2,5 \text{ o más para caminos muy importantes}$$

$$P_t = 2,0 \text{ para caminos de menor tránsito}$$

Para el presente proyecto se han adoptado

$$P_o=4.2 \text{ y } P_t=2$$

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:

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t$$

Por tanto la pérdida de serviciabilidad prevista estimada es:

$$\Delta\text{PSI} = 2.2$$

**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. Este módulo se delimita con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos como por ejemplo el CBR.

Otras conocidas son las utilizadas en Chile:

$$M_R \text{ (MPa)} = 17.6 * CBR^{0.64} \text{ (CBR < 12)}$$

$$M_R \text{ (MPa)} = 22.1 * CBR^{0.55} \text{ (12 < CBR < 80)}$$

A partir del valor del CBR de Diseño calculado y con las fórmulas que mejor se ajusta a los materiales que representan el terreno natural y que correlaciona el módulo resiliente y CBR, se ha obtenido el módulo resiliente de la capa subrasante.

Para el módulo resiliente de las capas de base y sub-base se lo especifica de la misma manera, con la fórmula que mejor se ajuste a los materiales.

**Cuadro N° 45: Valor de resistencia asignado MR (Mpa)**

<b>CAPAS DEL PAQUETE ESTRUCTURAL</b>	<b>MODULO RESILENTE OBTENIDO(MPa)</b>
Subrasante (CBR diseño = 9.3%)	73.340
Base (CBR = 80%)	246.089
Sub-base (CBR = 40%)	168.084

**Fuente:** Elaboración Propia

### 2.7.1.1.2 Determinación de Espesores por Capas.

Una vez que se haya obtenido el Número Estructural SN para la sección estructural del pavimento, utilizando el gráfico o la ecuación general básica de diseño, donde se involucraron los parámetros anteriormente descritos (tránsito, R, So, MR,  $\Delta PSI$ ), se requiere ahora determinar una sección multicapa que en conjunto provea de suficiente capacidad de soporte equivalente al número estructural de diseño original. La siguiente ecuación puede utilizarse para obtener los espesores de cada capa, para la superficie de rodamiento o carpeta, base y sub-base, haciéndose notar que el actual método de AASHTO, ya involucra coeficientes de drenaje particulares para la base y sub-base.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Dónde:

**SN** : Número estructural requerido

**a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> y a<sub>3</sub>** : Coeficientes de capa representativos de carpeta, base y sub-base respectivamente.

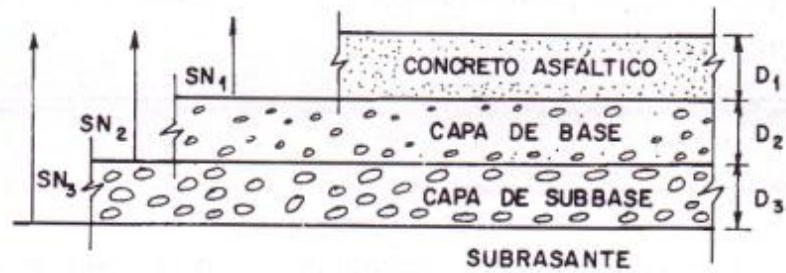
**D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> y D<sub>3</sub>** : Espesor de la carpeta, base y sub-base respectivamente, en pulgadas.

**m<sub>2</sub> y m<sub>3</sub>** : Coeficientes de drenaje para base y sub-base, respectivamente.

Para la obtención de los coeficientes de capa a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> y a<sub>3</sub> deberán utilizarse las Figuras N° 10 a 12.

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

Figura N° 9: Determinación de los espesores de las capas mediante aproximaciones



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

$$SN_1^* = a_1 D_1^* \geq SN_1$$

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

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

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

- 1)  $a$ ,  $D$ ,  $m$  y  $SN$  como se definen en el texto son los valores mínimos requeridos.
- 2) Un asterisco en  $D$  o  $SN$  indica que representa el valor realmente usado, el cual debe ser mayor o igual al requerido.

Fuente: Manual Aashto-93

Calculamos el SN requerido sobre la subrasante. Del mismo modo, se hallan los SN necesarios sobre las capas de sub-base y base, usando los valores aplicables de resistencia en

cada caso. Trabajando con las diferencias entre los SN calculamos como necesarios sobre cada capa, se determina el espesor máximo permisible de cada uno.

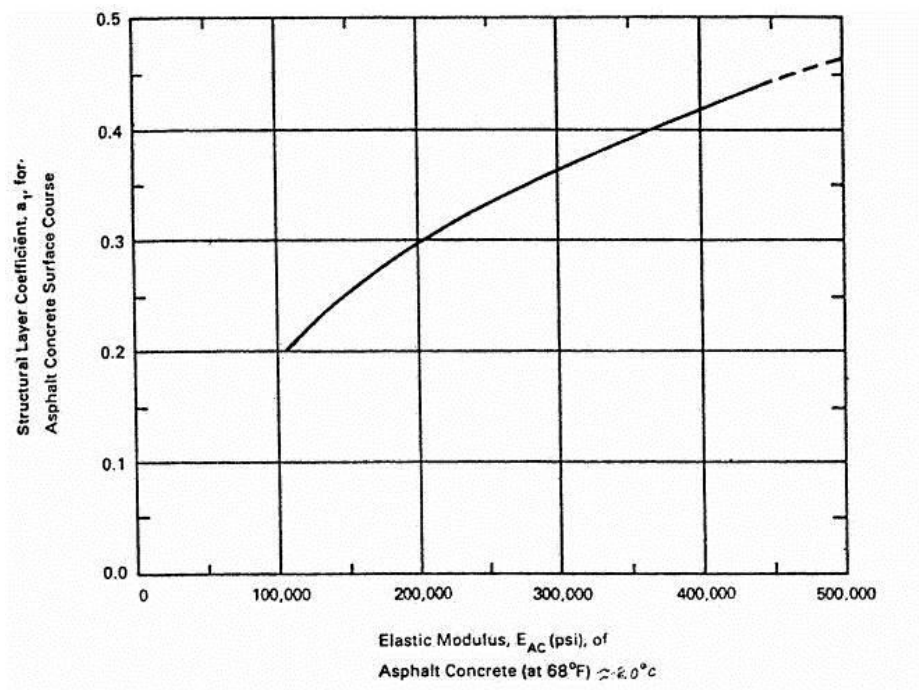
### 2.7.1.1.2.1 Coeficientes Estructurales o de Capa

Estos coeficientes son una medida de la capacidad relativa de cada capa como componente estructural de un pavimento, aunque directamente no sean un índice de la resistencia del material. No obstante a ello, estos coeficientes están correlacionados con distintos parámetros resistentes.

#### a) Coeficiente Estructural para la Capa de Rodadura “a<sub>1</sub>”.-

La Figura N° 10, proporciona un gráfico para estimar el coeficiente estructural para capas asfálticas, donde estos coeficientes “a<sub>1</sub>” están en función del módulo resiliente adoptado.

**Figura N° 10: Gráfico para determinar el coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente adoptado**



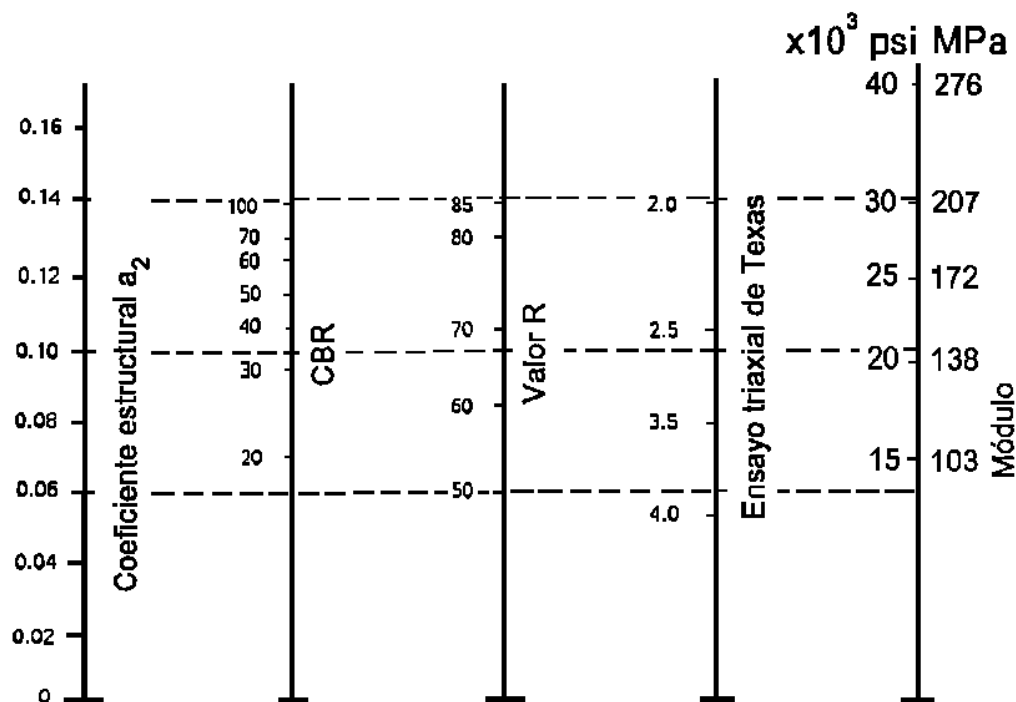
Para un módulo resiliente adoptado de 400,000.0 psi, se obtiene un coeficiente estructural para la Carpeta Asfáltica de:

$$a_1 = 0.42$$

**b) Coeficiente Estructural para la Capa Base “a<sub>2</sub>”.-**

En las figura N° 11, se muestra el ábaco para determinar el coeficiente estructural “a<sub>2</sub>” para bases granulares. Este coeficiente está en función de distintos parámetros resistentes.

**Figura N° 11: Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes**



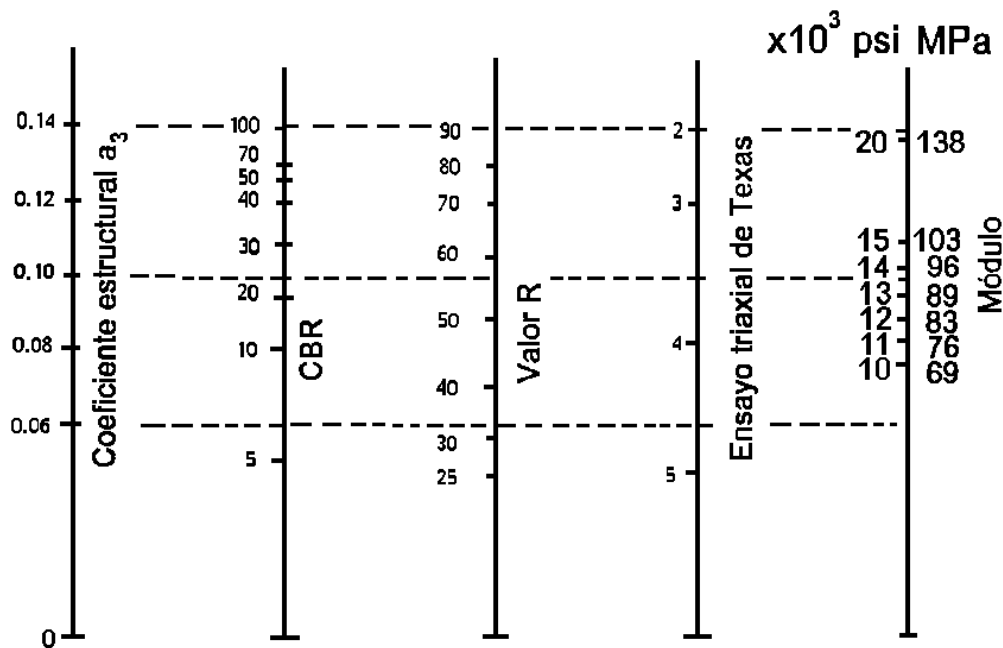
De esta manera para un CBR igual a 80% adoptado de las exigencias mínimas de las especificaciones técnicas, se tiene el coeficiente estructural para la capa Base Granular:

$$a_2 = 0.133$$

**c) Coeficiente Estructural para la Capa Sub-Base “a<sub>3</sub>”.-**

Para la estimación del coeficiente de capa “a<sub>3</sub>” para sub-base granular se utiliza el ábaco de la Figura N° 12, que relaciona este coeficiente con distintos parámetros resistentes

**Figura N° 12: Relación entre el coeficiente estructural para sub-base granular y distintos parámetros resistentes**



De esta manera para un CBR igual a 40% adoptado de las exigencias mínimas de las especificaciones técnicas, se tiene el siguiente coeficiente estructural para la capa Sub-base Granular:

$$a_3 = 0.12$$

#### d) Coeficientes de drenaje “ $m_i$ ”.-

Los coeficientes de drenaje que afectan a las capas no ligadas, tienen por objeto tomar en cuenta los efectos de distintos niveles de eficiencia de drenaje en el comportamiento de la estructura.

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

En el Cuadro N° 46, se indican los tiempos de drenaje recomendados por AASHTO. Estas recomendaciones están basadas en el tiempo requerido para drenar la capa base hasta un grado de saturación del 50%. Sin embargo, el criterio del 85% de saturación reduce en forma significativa el tiempo real usado para seleccionar la calidad del drenaje.

**Cuadro N° 46: Tiempo de Drenaje**

<b>CALIDAD DE DRENAJE</b>	<b>50% SATURACIÓN EN:</b>	<b>85% SATURACIÓN EN:</b>
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Más de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Fuente: Asshto 93

Esta calidad se expresa en la fórmula de dimensionado (Numero estructural) a través de unos coeficientes de drenaje  $m_i$  que afectan a las capas no ligadas (Cuadro N° 46)

**Cuadro N° 47: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles**

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Manual Aashto-93

Los valores adoptados de los coeficientes de drenaje en función a un análisis realizado considerando una calidad del drenaje regular y del 5% al 25% del tiempo del año expuesto a niveles de humedad, son los siguientes:

- Base Granular  $m_2=1.00$
- Sub-base Granular  $m_3=0.80$

### 2.7.1.1.3 Dimensionamiento del Pavimento Flexible

Como se indicó párrafos arriba, para el presente proyecto en el diseño del pavimento se utilizó el programa computarizado DIPAV-IBCH 2.0

En término simples DIPAV es una versión computarizada de los modelos de diseño de pavimentos basada en la metodología de diseño AASHTO.

Usando el Software se obtiene el número estructural:

The screenshot shows the DIPAV 2.1 software interface. The window title is "DIPAV 2.1". The menu bar includes "Archivo", "Herramientas", "Proyecto", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and help. The main window has a tab labeled "ccc" and a menu bar with "Flexible", "Módulo", "ESALs", "Diseño de Espesor de Capas", and "Gráfico". The "Flexible" tab is active, showing a form with the following fields and values:

Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2	
Serviciabilidad Final (Pt)	2	
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi)	246,088.8	KPa ==> 35,692.16 psi
Confiabilidad (R)(%)	80	
Desviación Estándar (So)	0.49	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	122,265	Calcular ESALs
Número de Etapas de Construcción	1	
Número Estructural (mm) - (pulg)	31	1.22

At the bottom, there are radio buttons for "SN" (selected) and "ESALs", along with "Calcular" and "Borrar todo" buttons.

DIPAV 2.1

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

ccc

Flexible Módulo ESALs Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Serviciabilidad Inicial (Po) 4.2

Serviciabilidad Final (Pt) 2

Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi) 168,083.6 KPa ==> 24,378.47 psi Calcular

Confiabilidad (R)(%) 80

Desviación Estándar (So) 0.49

Número de Ejes Equivalentes ESALs 122,265 Calcular ESALs

Número de Etapas de Construcción 1

Número Estructural (mm) - (pulg) 36 1.42

SN Calcular

ESALs Borrar todo

DIPAV 2.1

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

ccc

Flexible Módulo ESALs Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Serviciabilidad Inicial (Po) 4.2

Serviciabilidad Final (Pt) 2

Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi) 73,340.14342 KPa ==> 10,637.09 psi Calcular

Confiabilidad (R)(%) 80

Desviación Estándar (So) 0.49

Número de Ejes Equivalentes ESALs 122,265 Calcular ESALs

Número de Etapas de Construcción 1

Número Estructural (mm) - (pulg) 50 1.97

SN Calcular

ESALs Borrar todo

Entonces se tiene los números estructurales:

<b>SN1 Base</b>	1.22
<b>SN2 Sub-base</b>	1.42
<b>SN3 Subrasante</b>	1.97

Calculando los espesores de las capas manualmente con la metodología mencionada anteriormente, tenemos:

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{1.22}{0.42} = 2.90 \approx D_1^* = 3'' \quad \therefore SN_1^* = D_1^* * a_1 = 3'' * 0.42 = 1.26$$

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m_2} = \frac{1.42 - 1.26}{0.133 * 1} = 1.20 \approx D_2^* = 2'' \quad \therefore SN_2^* = D_2^* * a_2 * m_2 = 2'' * 0.133 * 1 = 0.266$$

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 * m_3} = \frac{1.97 - (0.266 + 1.26)}{0.12 * 0.8} = 4.6'' \approx D_3^* = 5'' \quad \therefore SN_3^* = D_3^* * a_3 * m_3 = 5'' * 0.12 * 0.8 = 0.48$$

**Como verificación:**

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN_3$$

$$1.26 + 0.266 + 0.48 \geq 1.93$$

$$2.00 \geq 1.97 \quad \text{OK!!}$$

**Entonces:**

$D_1 = 3'' \approx 7.62 \text{ cm}$ . Se adopta  $2'' \approx 5 \text{ cm}$ .

$D_2 = 2'' \approx 5.08 \text{ cm}$ . Según el Cuadro N° 48, el espesor mínimo será de **10 cm**.

$D_3 = 5'' \approx 12.7 \text{ cm}$ .

**Cuadro N° 48: Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular**

Número de ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 – 150,000	5.0 cm	10 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 – 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: Manual Aashto-93

#### 2.7.1.1.4. Mejoramiento de la Subrasante

La capa de subrasante mejorada puede ser una modificación de la subrasante existente (sustitución del material inadecuado).

La función principal de esta capa mejorada será dar resistencia a la estructura del pavimento.

El espesor de una capa de subrasante mejorada no debe ser menor del espesor determinado mediante el método que a continuación se describe:

- Tal como se indicó el Número Estructural (SN), según AASHTO está dado por la siguiente ecuación:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

- Se añade a la ecuación SN la capa de subrasante mejorada, expresada en términos de  $a_4 \times D_4 \times m_4$ , donde:

**a<sub>4</sub>** : Coeficiente estructural de la capa de subrasante mejorada, se recomiendan: 0.024, para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante regular con CBR 6 – 10%.

**D<sub>4</sub>** : Espesor de la capa de subrasante mejorada (cm).

(De progresiva 0+750 a 1+250, 1+250 a 1+750 y 1+750 a 2+250)

**m<sub>4</sub>** : Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 4. Su valor será 1.

Nueva ecuación:

$$SN_r = SN_3 + a_4 * D_4 * m_4$$

- Con los valores determinados  $a_4$  y  $m_4$ , se puede calcular el espesor efectivo

$D_4$  de la subrasante mejorada, con la siguiente expresión:

$$D_4 = (SN_r - SN_3) / (a_4 \times m_4)$$

$$D_4 = \frac{2.44 - 1.97}{0.024 * 1} = 19.58 \text{ cm.} \approx 20 \text{ cm.}$$

$SN_3 = 2.44$  Número estructural del pavimento con subrasante muy pobre o pobre.

$SN_r$  = Número estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena, según se requiera mejorar.

$Mr = 1,500 * CBR = 1500 * 4.03 = 6045$  psi. (Para suelos finos con CBR menor a 10%)

$CBR \% = 4.03$ , el más desfavorable.

Aplicando el software del DIPAV:

The screenshot shows the DIPAV 2.1 software interface. The window title is "DIPAV 2.1". The menu bar includes "Archivo", "Herramientas", "Proyecto", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and help. The main window has a tabbed interface with "Flexible" selected. The "Diseño de Espesor de Capas" tab is active, showing the following input fields and values:

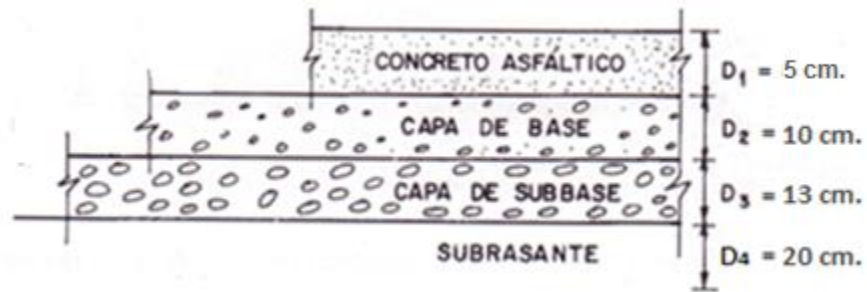
Parámetro	Valor	Unidad
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2	
Serviciabilidad Final (Pt)	2	
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi)	41,678.81	KPa
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi)	6,045	psi
Confianza (R)(%)	80	
Desviación Estándar (So)	0.49	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	122,265	
Número de Etapas de Construcción	1	
Número Estructural (mm) - (pulg)	62	2.44

At the bottom, there are radio buttons for "SN" (selected) and "ESALs". Buttons for "Calcular" and "Borrar todo" are also visible.

Se tiene el Numero Estructural:

$$SN_r = 2.44$$

Figura N° 13: Espesores del Paquete Estructural



Fuente: Elaboración Propia



## 3.1. ALTERNATIVA "A" PAVIMENTO FLEXIBLE

Cuadro N° 49: Presupuesto General Alternativa "A"

N°	ITEM	UNID	PRECIO UNITARIO (Bs.)	CANTIDAD TOTAL	COSTO TOTAL (Bs.)
<b>OBRAS PRELIMINARRES</b>					
1	PROV. Y COL. DE LETREROS DE OBRA	PZA	1.676,40	2,00	3.352,81
2	INSTALACION DE FAENAS	GBL	26.751,94	1,00	26.751,94
3	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRAFICO	KM	6.653,47	4,88	32.435,66
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					
4	EXCAVACION EN ROCA BLANDA	M3	24,31	962.961,37	23.411.616,07
5	CONFORMACION Y COMPACTADO DE TERRAPLENES	M3	18,58	2.337,61	43.434,68
<b>PAVIMENTO</b>					
7	CONFORMACION CAPA SUB BASE	M3	464,81	3802,5	1767440,275
8	CONFORMACION CAPA BASE	M3	519,70	2925	1520124,761
9	IMPRIMACION CAPA BITUMINOSA 1,5 LT/M^2 (MC 30)	M2	25,86	29250	756480,0017
10	CONCRETO ASFALTICO	M3	2429,02	2.340,00	5683911,109
<b>OBRAS DE ARTE</b>					
11	TRAZO Y REPLANTEO DE OBRAS DE ARTE	PZA	739,44	10,00	7.394,45
12	CAMA DE ARENA	M3	150,43	11,25	1.692,29
13	HORMIGON CICLOPEO PARA OBRAS DE ARTE (PD 50%)	M3	1.058,30	1.286,61	1.361.613,87
14	PROV. Y COLOC. ALCANT. ARMCO D=1 MT	ML	1.723,30	75,00	129.247,15
15	EXCAVACION CON RETROEXCAVADORA	M3	31,48	2.721,80	85.683,23
16	RELLENO Y COMPACTADO MANUAL	M3	20,02	680,45	13.620,50
17	LIMPIEZA GENERAL	KM	183,88	4,88	896,43
<b>TOTAL OBRAS CIVILES (BOLIVIANOS)</b>					<b>34.845.695,22</b>
<b>TRABAJOS AMBIENTALES (BOLIVIANOS)</b>					<b>200.000,00</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO (BOLIVIANOS)</b>					<b>35.045.695,22</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2. ALTERNATIVA “B” RIPIADO DE PLATAFORMA

**Cuadro N° 50: Presupuesto General Alternativa “B”**

N°	ITEM	UNID	PRECIO UNITARIO (Bs.)	CANTIDAD TOTAL	COSTO TOTAL (Bs.)
<b>OBRAS PRELIMINARRES</b>					
1	PROV. Y COL. DE LETREROS DE OBRA	PZA	1.676,40	2,00	3.352,81
2	INSTALACION DE FAENAS	GBL	26.751,94	1,00	26.751,94
3	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRAFICO	KM	6.653,47	4,88	32.435,66
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					
4	EXCAVACION EN ROCA BLANDA	M3	24,31	962.961,37	23.411.616,07
5	CONFORMACION Y COMPACTADO DE TERRAPLENES	M3	18,58	2.337,61	43.434,68
<b>CAPA DE RODADURA</b>					
7	RIPIADO DE PLATAFORMA	M3	92,78	3.510,00	325.669,88
<b>OBRAS DE ARTE</b>					
8	TRAZO Y REPLANTEO DE OBRAS DE ARTE	PZA	739,44	10,00	7.394,45
9	CAMA DE ARENA	M3	150,43	11,25	1.692,29
10	HORMIGON CICLOPEO PARA OBRAS DE ARTE (PD 50% )	M3	1.058,30	1.286,05	1.361.026,52
11	PROV. Y COLOC. ALCANT. ARMCO D=1 MT	ML	1.723,30	75,00	129.247,15
12	EXCAVACION CON RETROEXCAVADORA	M3	31,48	2.721,80	85.683,23
13	RELLENO Y COMPACTADO MANUAL	M3	20,02	680,45	13.620,50
14	LIMPIEZA GENERAL	KM	183,88	4,88	896,43
<b>TOTAL OBRAS CIVILES (BOLIVIANOS)</b>					<b>25.442.821,60</b>
<b>TRABAJOS AMBIENTALES (BOLIVIANOS)</b>					<b>200.000,00</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO (BOLIVIANOS)</b>					<b>25.642.821,60</b>

Fuente: Elaboración Propia



#### 4.1. CONCLUSIONES:

- Se realizó el análisis de las dos alternativas de trazo geométrico planteadas en el Capítulo II, siendo la Alternativa Geométrica “B” la más favorable por sus condiciones geológicas principalmente y por lo tanto la seleccionada para el trazo geométrico del camino vecinal.
- Se obtuvo el CBR de Diseño igual a 9,3% y el CBR más desfavorable de 4,03%.
- Aforo del tráfico vehicular en el camino que une la comunidad de Cachimayo y San Francisco Chico, obteniendo un TPDA de 32 veh/día y posteriormente el Número Total de Ejes Equivalentes igual a 122.265 ESALs.
- A través del análisis hidrológico la intensidad calculada para realizar el Diseño para Drenaje de la Plataforma (Cunetas) es de 333.046 mm/hr, considerando un Periodo de Retorno de 5 años. Para el diseño de las Alcantarillas de Cruce la intensidad varía de acuerdo a los diferentes tiempos de concentración, para un Periodo de Retorno de 25 años
- En el alineamiento en planta se diseñó 47 curvas circulares con radios que comprenden de 25 metros siendo el mínimo permitido, hasta radios de 200 metros.
- La Topografía de la zona del proyecto presenta terrenos extremadamente montañosos, siendo la pendiente longitudinal mínima en el alineamiento de 0,5% y la máxima de 11.97 % en el diseño.
- En la geometría del perfil se diseñaron 10 curvas verticales con longitud mínima de 30m, de las cuales 6 corresponden a curvas convexas y 4 cóncavas.

- A través del diseño geométrico se realizó el movimiento de tierras correspondiente; existe un volumen de corte de  $962961,37 \text{ m}^3$  y un volumen de relleno de  $2337 \text{ m}^3$ .
- Se diseñó el sistema de drenaje, el cálculo hidráulico y dimensionamiento de cunetas a lo largo del trazo de la carretera, obras de arte: 4 Alcantarillas de alivio y 6 Alcantarillas de cruce.
- Como Alternativa Estructural “A”, se diseñó el paquete estructural del pavimento, a través de los parámetros de diseño del Método “ASSHTO 93” y el software DIPAV. Sub Base de Agregados: 13 cm. Base de Agregados: 10 cm. y Carpeta Asfáltica: 5 cm.
- El espesor de la subrasante mejorada es de 20cm, este procedimiento se lo realizara desde las progresivas 0+750 hasta la 2+250.
- La alternativa estructural “B” consiste en el suministro de una capa de ripio a lo largo del trazo del camino; de un espesor no menor a 15 cm, con especificaciones determinadas detalladas en el Capítulo II.
- A través de un análisis de precios unitarios, se realizó el presupuesto general de las dos alternativas: Alternativa A=26.428.916,16 Bs. Alternativa B=22.936.484,99 Bs.
- A partir del análisis de las dos alternativas, desde el punto de vista económico y considerando que se trata de un camino vecinal se optó por seleccionar como solución para el proyecto, la Alternativa estructural “B”.

#### 4.2. RECOMENDACIONES:

- Se recomienda colocar los BM's de referencia en lugares donde sean accesibles y fáciles de ubicar.
- Para el diseño se recomienda el uso del programa Autocad Civil 3d, el cual facilitara de manera considerable el diseño geométrico en planta y perfil.
- En el caso de que el material de la subrasante no sea homogéneo a lo largo del tramo, se puede reducir la separación de toma de muestras, por ejemplo realizar el muestreo cada 100 m. o 200 m. todo dependiendo de las características del material.
- El espesor de la base granular en ningún caso debe ser menor a 10 cm. Esto para garantizar la estabilidad estructural de las capas.
- En nuestro medio el espesor de pavimento flexible generalmente se adopta de 5 cm, esto ha dado buenos resultados. El factor principal para la adopción de este espesor es el económico porque valores superiores a este tienen un costo más alto. Por lo cual nosotros también adoptamos este valor.
- Para la conformación del terraplén se recomienda ser ejecutados en capas de espesor máximo de 20 cm., y piedras de dimensión máxima de 7,5 cm.