

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

**“PROYECTO DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA CONSTRUCCIÓN
PAVIMENTADO CRUCE LAGUNITAS - PRESA SAN ANTONIO
(CARAPARÍ)”**

1.1. INTRODUCCIÓN.

La palabra carretera es un término que usamos frecuentemente en nuestro idioma para designar a la vía pública pavimentada que se encuentra especialmente destinada para que por ella transiten los vehículos.

La principal diferencia entre una carretera y un camino es que las carreteras son mucho más largas que los caminos, cuentan con dos o cuatro carriles unidireccionales, las velocidades con la que circulan los vehículos por una carretera son altas, en comparación de un camino; y además por las carreteras circulan grandes cantidades de vehículos al día.

Para la construcción de una carretera es necesario disponer de un trayecto continuo. En buena parte de los casos la extensión de una carretera puede demandar la retirada de determinadas construcciones que estén a su paso o en su defecto de vegetación.

Pavimento es una estructura que se encuentra constituida por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de la vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de restringir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para la cual fue diseñada la estructura del pavimento.

Los pavimentos son estructuras diseñadas para entregar al usuario seguridad y comodidad al transitar, esto significa que la plataforma debe entregar un nivel de servicio acorde a la demanda solicitada.

La elaboración del presente trabajo “Diseño Final de Ingeniería: Construcción Pavimentado Cruce Lagunitas - Presa San Antonio (Caraparí)”, permitirá al Gobierno Autónomo Regional del Chaco Tarijeño Caraparí, contar con los estudios, análisis de datos, parámetros de diseño y el correspondiente diseño final de ingeniería, para su posterior materialización.

Se tiene conocimiento certero de que las condiciones de transitabilidad, del tramo: Cruce Lagunitas - Presa San Antonio, son precarias y prácticamente es un acceso, y no cuenta con ningún estudio preliminar técnico para la elaboración de su diseño.

Con la elaboración del presente trabajo, se brinda el documento **“PROYECTO DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA CONSTRUCCIÓN PAVIMENTADO CRUCE LAGUNITAS - PRESA SAN ANTONIO (CARAPARÍ)”**

1.2. JUSTIFICACIÓN.

Las poblaciones de Lagunitas y San Antonio no cuentan con un adecuado camino que une a éstas con la Presa, ya que solamente existe un camino de acceso, el cual no cumple con las características técnicas; además, se trata de un camino desarrollo; es por eso que se decidió realizar el presente estudio el cual permitirá dar solución a la necesidad que tienen estas comunidades, además de otras adyacentes a la ruta y también del Gobierno Autónomo Regional del Chaco Tarijeño Caraparí, de contar con el estudio a Diseño Final de Ingeniería del Tramo Pavimentado Cruce Lagunitas - Presa San Antonio (Caraparí) con una longitud de 9.69 km.

Diseñar un camino a la presa para permitir la operación de las compuertas y llaves, tanto del sistema de conducción como del drenaje de fondo, además de generar un gran atractivo turístico que incremente los ingresos de la comunidad.

Este proyecto beneficiará a las comunidades de Lagunitas, San Antonio y Arenales ayudando a un total de 109 familias, las cuales tendrán la oportunidad de mejorar su

calidad de vida, ya que podrán utilizar esta carretera (cuando se construya) para sacar y vender sus productos agrícolas en las ciudades capitales o en otras poblaciones.

Además este proyecto contribuirá al desarrollo del turismo, pues las personas podrán llegar a la presa San Antonio disponiendo de una buena carretera y brindando la comodidad adecuada a todos los conductores que transiten por la misma.

En el presente estudio se realizará la aplicación de métodos de diseño de carreteras; para mejorar la transitabilidad y calidad de servicio del tramo Cruce Lagunitas- Presa San Antonio para brindar un mejoramiento académico con la realización del mismo.

Figura 1: Localización del Proyecto, Ámbito Nacional



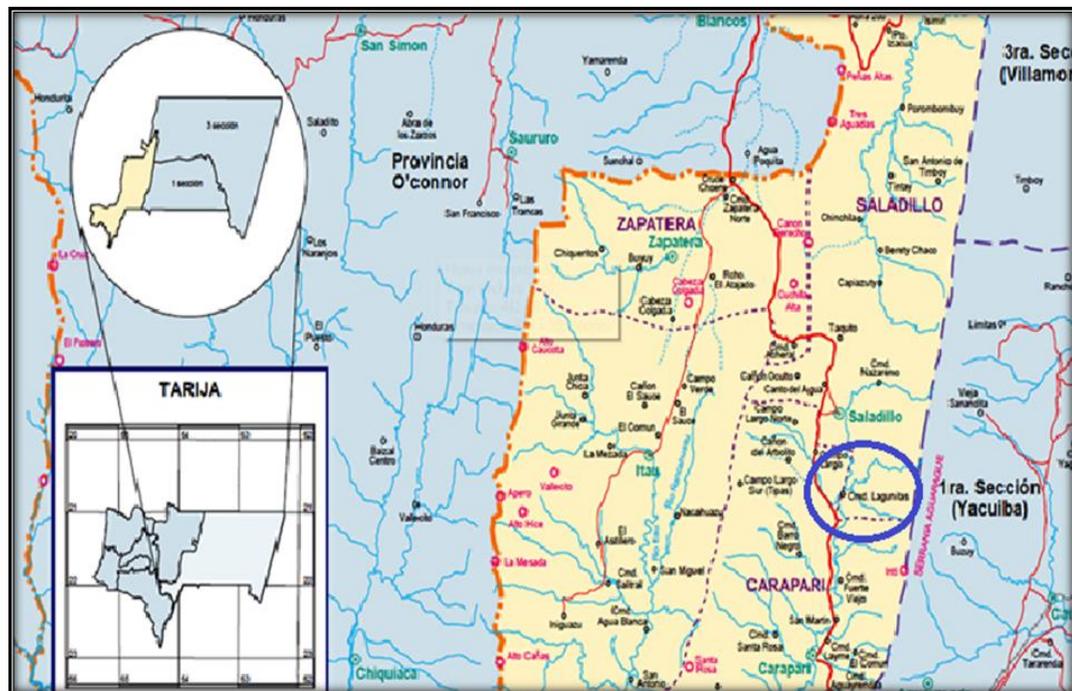
Fuente: Educa Bolivia

Figura 2: Localización del Proyecto, Ámbito Departamental



Fuente: Educa Bolivia

Figura 3: Localización del Proyecto, Ámbito Provincial



Fuente: INE

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Situación Problemática

El camino actual Cruce Lagunitas- Presa San Antonio no es el más adecuado, cuyos radios de curvatura son pequeños, pendientes muy elevadas, no cuenta con un sistema de drenaje; los mismos que dificultan la libre transitabilidad de los usuarios de ésta ruta, más específicamente los pobladores de las comunidades de Lagunitas, San Antonio y otras adyacentes.

1.3.2 Problema

¿Cuál sería la mejor alternativa de carpeta de rodadura para realizar el Diseño de Ingeniería del camino Cruce Lagunitas – Presa San Antonio – Caraparí?

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo General.

Elaborar el Proyecto de Ingeniería: Construcción Pavimentado Cruce Lagunitas – Presa San Antonio – Caraparí, de acuerdo a la normativa vigente, para satisfacer las necesidades tanto de las poblaciones beneficiarias como también del Gobierno Autónomo Regional del Chaco Tarijeño Caraparí de contar con el presente documento de estudio.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Recopilación de la información referida al tramo de estudio.
- Recopilación de la fundamentación bibliográfica.
- Realizar el estudio topográfico del tramo pavimentado Cruce Lagunitas- Presa San Antonio.
- Elaborar el estudio hidrológico correspondiente, para realizar el diseño de obras de arte mayor y menor.
- Realizar un estudio de tráfico.
- Efectuar el estudio de suelos y la clasificación de los mismos para determinar el CBR de diseño correspondiente del tramo pavimentado Cruce Lagunitas- Presa San Antonio.
- Efectuar el diseño geométrico para el tramo Cruce Lagunitas Presa San Antonio Caraparí.
- Elaborar el diseño de las obras de arte menor.
- Realizar el diseño de drenaje para todo el tramo en estudio.
- Proveer la metodología de diseño del paquete estructural tanto tratamiento superficial como también pavimento flexible para compararlos y elegir la mejor alternativa.
- Elaborar la señalización correspondiente al tramo tanto horizontal como vertical.
- Realizar los cálculos métricos para determinar volúmenes de obra.
- Elaborar un análisis de precios unitarios para determinar el presupuesto total de la obra.
- Elaborar las especificaciones técnicas de ítems de obra.
- Elaborar el manifiesto ambiental, ficha ambiental y matriz ambiental.

1.5. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

Para la elaboración de este proyecto se realizaron los siguientes estudios:

1. Topografía.- El levantamiento topográfico se lo realizó formando una poligonal en base a una red geodésica implantada su nivelación y posterior procesamiento de datos en gabinete.
2. Geotecnia.- Las muestras recolectadas han sido enviadas al laboratorio para la ejecución de los correspondientes ensayos físico-mecánicos es decir granulometrías, límites de Atterberg, compactación y CBR. Utilizando el método AASTHO para la clasificación de los suelos.
3. Geología.- Se realizaron los perfiles estratigráficos, se determinó la orientación de los taludes en roca (buzamiento y rumbo), y también se realizó la clasificación de la roca de acuerdo a su calidad por el método del RQD.
4. Hidrología.- Para el análisis y cálculo de las lluvias máximas diarias, para diferentes periodos de retorno, se sigue la siguiente metodología.

Para el modelo de distribución de probabilidades seleccionado inicialmente en el paso anterior se realizaron las pruebas de bondad de ajuste. En este caso las pruebas de Chi-Cuadrado y la de Smirnov Kolmogorov.

Para el cálculo de las intensidades máximas utilizó el método de Gumbell.

Para el cálculo de caudales máximos se manejaron los métodos de Hidrograma Unitario y la fórmula racional.

5. Tráfico.-Realizar un estudio de tráfico para determinar el TPDA, TPH y el TPD los cuales servirán para efectuar el diseño del paquete estructural.
6. Diseño Geométrico.- El trazo geométrico se logró adoptando las normativas vigentes de la Administradora Boliviana de Carreteras ABC. Se lo realizó utilizando el programa AUTOCAD CIVIL3D.

7. Diseño del Paquete Estructural.- El diseño del pavimento se lo realizó adoptando la norma americana AASHTO. Donde se plantean alternativas como tratamiento superficial y pavimento flexible. Además se diseñan los espesores de la capa sub base, capas base y capa de rodadura.
8. Diseño de Estructuras Obra de Arte Menor.- El diseño de las obras de arte menor se las realiza tomando en cuenta la norma ABC (Administradora Boliviana de Carreteras); se diseñarán alcantarillas y puentes losa, según requiera el diseño.

Además se utiliza el programa H CANALES para realizar el dimensionamiento de cunetas.
9. Señalización y seguridad vial.- La señalización es diseñada tomando en cuenta la normativa vigente ABC.
10. Cómputos Métricos.- Se realizará los cómputos métricos para determinar las cantidades de los materiales y los volúmenes de obra.
11. Precios Unitarios y Presupuesto.- El análisis de precios unitarios se efectúa tomando en cuenta las incidencias correspondientes para luego sacar el presupuesto general de la obra.
12. Especificaciones Técnicas.- Las especificaciones técnicas se las realizan para establecer los parámetros de control, los cuales servirán al momento de ejecutar la obra.
13. Estudio de Impacto Ambiental.- Para el estudio ambiental se realizara el llenado de la ficha ambiental y también de la matriz ambiental para determinar a qué categoría corresponde el proyecto y así establecer las medidas de mitigación medio ambientales.

1.6. MEDIOS

Para la extracción de muestras en el campo se necesitarán los siguientes materiales:

- ✓ Pala
- ✓ Barreta
- ✓ Picota
- ✓ Bolsas Nylon
- ✓ Marcador
- ✓ Otros

1.6.1 Aplicación de Instrumentos de Laboratorio

Se nombrarán los equipos a usar para la realización de los ensayos de laboratorio, y su forma de operar.

1.6.2 Descripción de Equipos

Para realizar los ensayos de laboratorio se necesitarán:

- ♣ Hornos
- ♣ Balanzas
- ♣ Juego de Tamices
- ♣ Equipo de Casa Grande
- ♣ Equipo de Compactación
- ♣ Equipo de CBR

1.6.3 Forma de Operar

Todos los ensayos son realizados de acuerdo a los procedimientos que se indican a continuación:

ENSAYO: GRANULOMETRÍA

Objetivo:

- Determinar experimentalmente la distribución cuantitativa del tamaño de las partículas de un suelo.
- Analizar su graduación en base a los coeficientes de uniformidad (Cu.) y Curvatura (CC.).

Materiales:

1. Juego de tamices 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", No. 4, No. 10, No. 40, No. 200,
2. Tapa y fondo.
3. Balanza de 0.1gr. de sensibilidad.
4. Mortero con su pisón.
5. Horno con temperatura constante de 100 – 110° C.
6. Taras.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG

Las propiedades de un suelo formado por partículas finamente divididas, como una arcilla no estructurada dependen en gran parte de la humedad. El agua forma una

película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante del comportamiento diferente del material. Cuando el contenido de agua es muy elevado, en realidad se tiene una suspensión muy concentrada, sin resistencia estática al esfuerzo cortante; al perder agua va aumentando esa resistencia hasta alcanzar un estado plástico en que el material es fácilmente moldeable; si el secado continua, el suelo llega a adquirir las características de un sólido pudiendo resistir esfuerzos de compresión y tensión considerable.

Objetivos.

- Determinar experimentalmente los diferentes límites de consistencia de un suelo.

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, que debe tener un suelo moldeado para una muestra del mismo en que se haya moldeado una ranura de dimensiones Estándar, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos se cierre, sin resbalar en su apoyo.

Equipo.

1. Aparato de Arturo Casagrande, incluyendo la solera plana y el ranurador.
2. Espátulas flexibles.
3. Cápsula de porcelana.
4. Tamiz No. 40.
6. Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
7. Horno con temperatura constante de 100 a 110° C.

8. Taras con su tapa

DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO (L.P.)

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porciento, cuando comienza agrietarse un rollo formado con el suelo de 3 mm. de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa y absorbente.

Equipo

1. Vidrio esmerilado o papel absorbente.
2. Taras
3. Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
4. Horno con temperatura constante de 100 a 110° C.

ENSAYO DE COMPACTACIÓN “MÉTODO PROCTOR ESTANDAR”

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo deformación de los mismos. Este proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, como consecuencia de la cual en el suelo ocurren cambios de volúmenes de importancia, fundamentalmente ligados a pérdida de volumen de aire.

Objetivo.

- Determinar el peso volumétrico seco máximo (gd máx) que pueda alcanzar un material, así como la humedad óptima (W ópt.) a que deberá hacerse la compactación.
- El ensayo Proctor Estándar está limitado a los suelos que pasen totalmente el tamiz No.4 o que como máximo tenga un retenido del 10% en ese tamiz, pero que pase dicho retenido totalmente por el tamiz de 3/8”.

Equipo.

1. Un molde de compactación. Constituido por un cilindro metálico de 4” de diámetro interior por 4 ½ de altura y una extensión de 2 ½ “de altura y de 4” de diámetro interior.
2. Un pisón metálico (martillo Proctor) de 5.5 lb. de peso (2.5 Kg.) de 5 cm (2”) de diámetro.
3. Una guía metálica de forma tubular de 35 cm de largo aproximadamente.
4. Una regla metálica con arista cortante de 25 cm de largo.
5. Una balanza de 1.0 gr. de sensibilidad.
6. Una balanza de 0.01 gr., de sensibilidad.
7. Un horno que mantenga una temperatura constante entre 100 – 110° C.
8. Charolas metálicas.
9. Probetas graduadas de 500 cm³.
10. Extractor de muestras.
11. Tara para determinar humedad.

ENSAYO DE VALOR RELATIVO SOPORTE ó RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

El C.B.R. se determina como la relación en porcentaje entre la fuerza utilizada para la penetración de 0.25 cm (0.1 pulgada) con un vástago de 19.35 cm² (3 pulg²) de área con una velocidad de penetración de 1.27 mm/minutos (0.05 pulg. /min) y la fuerza ejercida en un material patrón (piedra triturada) para esa misma penetración carga unitaria del ensayo.

Objetivo

- Determinar experimentalmente el valor soporte de California para diferentes muestras de suelos.

Equipo:

1. Molde metálico cilíndrico de compactación de 15.24 cm de diámetro interior y 17.78 cm de altura interior. Debe tener un collarín de extensión metálica de 5.08 cm de altura y una placa base metálica de 9.5 mm de espesor, con perforaciones de diámetro igual o menor a los 1.5 mm.
2. Disco espaciador (fondo falso) de 15.1 cm de diámetro y 6.14 cm de altura.
3. Martillo de compactación Proctor Estándar o Modificado.
4. Aparato para medir la expansión con deformímetro de carátula con precisión de 0.01mm.
5. Pesas para sobrecargas, una metálica anular y varias metálicas ranuradas con un peso de 2.27 kg cada una y 14.9 cm de diámetro, con una perforación central de 50.4 cm de diámetro.
6. Máquina C.B.R., equipada con pistón de penetración (diámetro de 4.953 cm, con sección transversal de 19.4 cm²) y capaz de penetrar a una velocidad de

1.27 mm/minutos y con anillo de carga de 50kN y un deformímetro de 0.02mm.

7. Papel filtro circular.
8. Horno con temperatura constante de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$
9. Herramientas y accesorios, recipiente llenos de agua y tamices de $\frac{3}{4}$ y No. 4.

1.7. ALCANCE DEL ESTUDIO.

El alcance del “PROYECTO DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA CONSTRUCCIÓN PAVIMENTADO CRUCE LAGUNITAS - PRESA SAN ANTONIO (CARAPARÍ)” abarca lo siguiente:

- Se da información de una forma teórica de la ubicación, importancia, y descripción general del proyecto.
- Se realiza el aforo de vehículos para determinar el, TPD Y TPDA (estudio de tráfico).
- Se muestran los métodos de diseño de carreteras.
- Se analizan los criterios de la elección de la mejor alternativa para el proyecto en cuestión.
- Se realiza una descripción específica de la alternativa elegida, para el proyecto en estudio.
- Se muestra un planteamiento de solución acorde a las exigencias y Normas del Manual de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).
- Se utilizan programas como el AUTOCAD CIVIL3D, Hydraflow Express Extension For Autodesk Autocad Civil 3D para realizar los diseños.
- Se realiza la estabilidad de taludes utilizando el programa GEOSLOPE STABILITY ANALYSIS, se determinará el FS (Factor de Seguridad) el cual

debe ser mayor a uno para que el talud cumpla con la estabilidad; si el FS es menor o igual que 1.5 el talud es inestable.

- Se determinan las inclinaciones de taludes tanto de corte como de relleno los cuales estarán en función a los estudios realizados.
- El trabajo de laboratorio, con los materiales a utilizar para la construcción del paquete estructural del proyecto en estudio, definirá la metodología a utilizar.
- Se realiza un análisis y diagnóstico de los resultados anteriormente obtenidos.
- Se realiza el análisis correspondiente de costos del “Proyecto a Diseño Final de Ingeniería: Construcción Pavimentado Cruce Lagunitas - Presa San Antonio - Caraparí”
- De todo el estudio realizado se obtienen conclusiones finales y se darán las recomendaciones respectivas de acuerdo a los objetivos planteados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

DISEÑO GEOMÉTRICO

2.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE UNA CARRETERA O CAMINO

2.1.1 Factores Funcionales

Tienen relación, en general, con el servicio para el cual la carretera debe ser diseñada, destacándose los siguientes:

- Función que debe cumplir la carretera.
- Volumen y características del tránsito inicial y futuro.
- Velocidad de proyecto y velocidad de operación deseable.
- Seguridad para el usuario y la comunidad.
- Relación con otras vías y la propiedad adyacente.

2.1.2 Factores Físicos

Se relacionan con las condiciones impuestas por la naturaleza en la zona del trazado y suelen implicar restricciones que la clasificación para el diseño debe considerar. Los principales son:

- Relieve
- Hidrografía
- Geología
- Clima

2.1.3 Factores de Costo Asociados a la Carretera

Los costos asociados en la carretera son consecuencia de la categoría de diseño adoptada para ella. Esta relación es tan directa que muchas veces actúa como un criterio realimentador que obliga a modificar decisiones previas respecto de las características asignadas a un Proyecto.

Estas situaciones se resolverán mediante los estudios económicos de Prefactibilidad o Factibilidad.

2.1.4 Factores Humanos y Ambientales

Las decisiones tecnológicas están sin duda relacionadas con las características de la comunidad que se pretende servir en el medio ambiente en que ésta se inserta.

Algunos de los factores humanos y ambientales que influyen en mayor grado las decisiones en relación a un proyecto de carreteras son:

- Idiosincrasia de usuarios y peatones
- Uso de la tierra adyacente al eje vial
- Actividad de la zona de influencia
- Aspectos ambientales- impacto y mitigación¹

2.2 CONCEPTOS RELATIVOS A LA VELOCIDAD EN EL DISEÑO VIAL

2.2.1 Velocidad de Proyecto (Vp)

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

¹ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 1. Pág. 1-1

podrán ser empleados en la medida que estén precedidos por otros (en ambos sentidos del tránsito), que anticipen al usuario que se está entrando a un tramo de características geométricas mínimas, el que además deberá estar debidamente señalizado.

La Velocidad de Proyecto reemplaza a la denominada Velocidad de Diseño, por cuanto como se verá más adelante, se introducen nuevos conceptos que también intervendrán en el diseño, como son la Velocidad Específica (V_e) y la Velocidad Percentil 85 ($V_{85\%}$). Nótese además, que por lo general, una carretera o camino poseerá una longitud mayor con tramos del trazado más amplios que el correspondiente a aquellos de características mínimas, y por lo tanto, el diseño deberá considerar dicha realidad, ya que los usuarios, al percibir la mayor amplitud del diseño tienden a elevar su velocidad de circulación.

En consecuencia, el concepto Velocidad de Proyecto se usa para efectos del sistema de Clasificación Funcional para Diseño, a fin de indicar el estándar global asociado a la carretera y para definir los parámetros mínimos aceptables bajo condiciones bien definidas.

2.2.2 Velocidad Específica (V_e)

Es la máxima velocidad a la cual se puede circular por un elemento del trazado, considerado individualmente, en condiciones de seguridad y comodidad, encontrándose el pavimento húmedo, los neumáticos en buen estado y sin que existan condiciones meteorológicas, del tránsito, del estado del pavimento o del entorno de la vía, que impongan limitaciones a la velocidad.

La velocidad específica se aplica a los elementos curvos de la planta. Su divergencia con el antiguo concepto de Velocidad de Diseño, surge de la adopción de leyes de variación del peralte que en vez de disminuirlo ante radios crecientes, lo mantienen

relativamente alto para un rango amplio de los mismos, confiriendo mayor seguridad ante velocidades de circulación mayores que las de proyecto (ex diseño), situación que es consecuente con la tendencia de los usuarios a elevar la velocidad ante los trazos amplios.

En el caso particular de los elementos curvos, la V_e debe entenderse como la máxima velocidad a la que se puede recorrer una curva horizontal de radio y peralte dado, haciendo uso del máximo roce transversal especificado para dicha velocidad, en condiciones de pavimento húmedo, neumáticos en razonable buen estado y condiciones de flujo libre.

2.2.3 Velocidad de Operación (V_{op})

La velocidad de Operación es la velocidad media de desplazamiento que pueden lograr los usuarios en un tramo carretera de una Velocidad de Proyecto dado, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, del estado del pavimento, meteorológicas y grado de relación de ésta con otras vías y con la propiedad adyacente.

Si el tránsito y la interferencia son bajos, la Velocidad de Operación del usuario medio es del orden de la Velocidad de Proyecto y para un cierto grupo de usuarios superior a ésta. A medida que el tránsito crece, la interferencia entre vehículos aumenta tendiendo a bajar la Velocidad de Operación del conjunto.

2.2.4 Velocidad Percentil 85 ($V_{85\%}$)

Es aquella velocidad no superada por el 85% de los usuarios en un tramo de características homogéneas, bajo las condiciones de tránsito prevalecientes, estado del pavimento, meteorológica y grado de relación de éste con otras vías y con la propiedad adyacente. Cuando dichas condiciones no imponen restricciones, la $V_{85\%}$ suele ser mayor que la Velocidad de Proyecto, independientemente de si la Velocidad

de Proyecto está señalizada, corresponde a la máxima legal, etc. (siempre que el tramo no tenga control policial habitual). En consecuencia el 85% de los usuarios que circulan a la V85% o menos y un 15% de los usuarios superan dicha velocidad.²

2.2.5 Velocidad de Proyecto según Categoría de la Obra Vial

La Velocidad de Proyecto fija el marco de referencia mínimo que define el diseño geométrico de una carretera o camino, principalmente en lo relativo a su trazo horizontal y vertical. Algunas características de la sección transversal, como los anchos mínimos de pavimentos y bermas, dependen más bien del volumen de tránsito, tipo de vehículos y proporción de estos en el flujo.

La Velocidad de Proyecto seleccionada para un proyecto de categoría dada dependerá fundamentalmente de la función asignada a la carretera, del volumen y composición del tránsito previsto, de la topografía de la zona de emplazamiento y del diferencial de costo que implica seleccionar una u otra velocidad de proyecto dentro del rango posible considerado para la categoría. En definitiva, la elección de una Velocidad de Proyecto que se aparte de la óptima se reflejará en una disminución de la rentabilidad del proyecto.

Dentro del rango de velocidades posibles para cada categoría de carretera o camino, se justificarán las más altas en terrenos llanos o ligeramente ondulados y las más bajas para relieves montañosos o escarpados. Ésto no sólo por las consideraciones de costo ya expuestas, sino también porque el usuario está mejor dispuesto a aceptar velocidades menores cuando el terreno es difícil y el trazado necesariamente sinuoso, que cuando no encuentra una razón evidente para ello.

² Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 1. Pág. 1-5, 1-6.

2.3 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN

2.3.1 Categoría de las Vías

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

- Carreteras: Autopistas, Autorrutas y Primarias.
- Caminos: Colectores, locales y de Desarrollo.

Cada categoría se subdivide según Velocidades de Proyecto consideradas al interior de la categoría. Las Vp más altas corresponden a trazados en terrenos llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terreno montañoso o cuyo extorno presenta limitaciones severas para el trazado. El alcance general de dicha terminología es:

- **Terreno Llano:** está constituido por amplias extensiones libres de obstáculos naturales y una cantidad moderada de obras construidas por el hombre, lo que permite seleccionar con libertad el emplazamiento del trazado haciendo uso de muy pocos elementos de características mínimas. El relieve puede incluir ondulaciones moderadas de la rasante para minimizar las alturas de cortes y terraplenes; consecuentemente la rasante de la vía estará comprendida mayoritariamente entre $\pm 3\%$.
- **Terreno Ondulado:** está constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota que si bien no son demasiado importantes en términos absolutos, son repetitivos, lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido que pueden fluctuar entre 3 al 6%, según la categoría de la ruta. El trazado en planta puede estar condicionado en buena medida por el relieve del terreno, con el objeto de evitar cortes y terraplenes de gran altura, lo que justificará un uso más frecuente de elementos del orden de los mínimos. Según la importancia de las ondulaciones del terreno se podrá tener un Ondulado Medio o uno Franco o Fuerte.

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

En trazados por donde se atraviesan zonas urbanas o suburbanas, salvo casos particulares, no es el relieve del terreno el que condiciona el trazado, siendo el entorno de la ciudad, barrio industrial, uso del suelo, etc., el que los impone. Situaciones normalmente reguladas por el Plan Regulador y su Seccional correspondiente.

Tabla 1: Clasificación Funcional para Diseño de Carreteras y Caminos Rurales

CATEGORÍA		SECCIÓN 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
		2BD	1	100-90-80	P (2) - xx
COLECTOR	(II)	4 ó + UD	2 (1)	80-70-60	C (n) - xx
		2BD	1	80-70-60	C (2) - xx
LOCAL	(III)	2BD	1	70-60-50-40	L (2) - xx
DESARROLLO		2BD	1	50-40-30*	D - xx

-UD: Unidireccionales

(n) Número Total de Carriles

-BD: Bidireccionales

-xx Velocidad de Proyecto (Km/h)

* Menor que 30Km/h en sectores puntuales conflictivos

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

a. Caminos Locales (III)

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

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

- Terreno Llano a Ondulado Medio 70 Km/h
- Terreno Ondulado Fuerte 60 Km/h
- Terreno Montañoso 50 y 40 Km/h

b. Caminos de Desarrollo

Están destinados a conectar zonas aisladas y por ellas transitarán vehículos motorizados y vehículos a tracción animal. Sus características responden a las mínimas consultadas para los caminos públicos, siendo su función principal la de posibilitar tránsito permanente aun cuando las velocidades sean reducidas, de hecho las velocidades de proyecto que se indican a continuación son niveles de referencia que podrán ser disminuidos en sectores conflictivos.

La sección transversal que se les asocia debe permitir el cruce de un vehículo liviano y un camión a velocidades tan bajas como 10Km/h y la de dos camiones, estando uno de ellos detenido.

Las velocidades referenciales de proyecto son:

- Terreno llano a Ondulado Medio 50 y 40 Km/h
- Terreno Ondulado Fuerte a Montañoso 30 Km/h³

³ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 1. Pág. 1-23, 1-26.

Tabla 2: Características Típicas de Caminos según la Clasificación Funcional

		CAMINOS		
CATEGORÍA		COLECTORES	LOCALES	DESARROLLO
VELOCIDADES DE PROYECTO (Km/h) TIPO DE TERRENO		80-70-60 LL - O - M	70 - 60 - 50 - 40 LL - O - M	50 - 40 - 30 LL - O - M
PISTAS DE TRÁNSITO		BIDIRECCIONALES O (UNIDIRECCIONALES)	BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES
FUNCIÓN	Servicio al Tránsito de paso	Continuidad de tránsito y acceso a la propiedad de similar importancia	Continuidad de tránsito consideración secundaria	
	Servicio a la propiedad adyacente		Consideración primaria	
CONEXIONES	Se conecta con	Todos	(Primarios) Colectores, Locales, Desarrollo	Colectores, Locales, Desarrollo
	Tipo de conexión	Todos	(Intersección) Acceso Directo	Acceso Directo
CALIDAD SERVICIO	Nivel de Servicio (1) Años Iniciales Año Horizonte	C (2) (D)	No Aplicable	
	Tipo de Flujo	Estable con restricción (Próximo Inestable)	Restringido por movimientos hacia y desde la propiedad	
	Velocidad de Operación (1) (3) Según demanda rango probable	80 - 70 Km/h	70 - 60 Km/h	50 - 25 Km/h
TRÁNSITO	Volúmenes Típicos de tránsito al año inicial TPDA	BD > 500 UD: Caso especial	Tránsito y composición variable según tipo de actividad: Agrícola, Minera, Turística	
	Tipo de Vehículo	Todo tipo de vehículos	Vehículo liviano y camiones medianos	

Letras o conceptos entre paréntesis indican situaciones límites en condiciones poco frecuentes.

- (1) Considera Trazado Llano y ondulado; Trazado Montañoso constituye caso particular (Vop = Velocidad Operación – V50%)
- (2) Las velocidades de Proyecto limitan la posibilidad de niveles mejores aún con baja demanda

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.4 DISTANCIA DE VISIBILIDAD Y MANIOBRAS ASOCIADAS

Una carretera o camino debe ser diseñada de manera tal que el conductor cuente siempre con una visibilidad suficiente como para ejecutar con seguridad las diversas maniobras a que se vea obligado o que decida efectuar. En general, el conductor requiere de un tiempo de percepción y reacción para decidir la maniobra a ejecutar y un tiempo para llevarla a cabo. Durante este tiempo total, el o los vehículos que participan en la maniobra recorren distancias que dependen de su velocidad de desplazamiento y que determinan, en definitiva, las distancias de visibilidad requeridas en cada caso.

Se distinguen para el diseño cinco tipos de visibilidad, bajo distintas circunstancias impuestas por el trazado de la carretera o la maniobra que se desea ejecutar.

Los casos básicos aludidos son:

- ✓ Visibilidad de Frenado
- ✓ Visibilidad de Adelantamiento

2.4.1 Distancia de Frenado

En todo punto de una Carretera o Camino, un conductor que se desplace a la velocidad V , por el centro de su carril de tránsito, debe disponer al menos de la visibilidad equivalente a la distancia requerida para detenerse ante un obstáculo inmóvil, situado en el centro de dicho carril.

Se considera obstáculo aquél de una altura igual o mayor que $0,20\text{ m}$ (h_2), estando situados los ojos de conductor a $1,10\text{ m}$ (h_1), sobre la rasante del eje de su carril de circulación.

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

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

Dónde:

Df = Distancia de Frenado (m)

V = V_p o V*

t = Tiempo de Percepción + Reacción (s)

f₁ = Coeficiente de Roce Rodante, Pavimento Húmedo

i = Pendiente Longitudinal (m/m)

+i subidas respecto sentido de circulación

-i Bajadas respecto sentido de circulación

El primer término de la expresión representa la distancia recorrida durante el tiempo de percepción + reacción (dt) y el segundo la distancia recorrida durante el frenado hasta la detención junto al obstáculo (df).

La Tabla 3 presenta los valores parciales calculados mediante la expresión citada y el valor redondeado adoptado para Df. Todo ello considerando V* corresponde a la velocidad asignada al tramo y que los valores de “t” y “f₁” se han actualizado de acuerdo a las tendencias vigentes a la fecha.

Los valores allí consignados para Df son los mínimos admisibles en horizontal. Si en una sección de carretera o camino resulta prohibitivo lograr la distancia mínima de Visibilidad de Frenado correspondiente a V*, se deberá señalar dicho sector con la velocidad máxima admisible, siendo éste un recurso extremo a utilizar sólo en casos muy calificados y autorizados por la Administradora Boliviana de Carreteras.

**Tabla 3: Distancia Mínima de Frenado en Horizontal "Df"
($Df=0.555V+0.00394V^2/R$)**

V	t	f ₁	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
35	2					31	35
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38	40
45	2					44	45
50	2	0,410	27,8	24,0	51,8	52	50
55	2					60	55
60	2	0,460	33,3	35,5	68,8	70	60
65	2					80	65
70	2	0,380	38,9	50,8	89,7	90	70
75	2					102	75
80	2	0,360	44,4	70,0	114,4	115	80
85	2					130	85
90	2	0,340	50,0	93,3	143,8	145	90
95	2					166	95
100	2	0,330	55,5	119,4	174,9	175	100
105	2					192	105
110	2	0,320	61,1	149,0	210,0	210	110
115	2					230	115
120	2	0,310	66,6	183,0	249,6	250	120
125	2					275	125
130	2	0,295	72,2	225,7	297,9	300	130

Fuente: Manual de la ABC "Diseño Geométrico"

2.4.2 Distancia de Adelantamiento

La distancia de adelantamiento “Da”, equivale a la visibilidad mínima que requiere un conductor para adelantar a un vehículo que se desplaza a velocidad inferior a la de proyecto; esto es, para abandonar su carril, sobrepasar el vehículo adelantado y remontar 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 por el utilizado para el adelantamiento.

De lo expuesto se deduce que la visibilidad de adelantamiento se requiere sólo en caminos con carriles para tránsito bidireccional. En carreteras con carriles unidireccionales no será necesario considerar en el diseño el concepto de distancia de adelantamiento, bastando con diseñar los elementos para que cuenten con la visibilidad de frenado.

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

El enfoque clásico elaborado por AASHTO para calcular Da, implica definir una serie de variables y situaciones que conforman un modelo, por lo general conservador, de las diferentes realidades que se presentan en la práctica. Contrastados los valores recomendados por la AASHTO con los que se emplean en Alemania, España y Gran Bretaña, se adoptan valores medios correspondientes a la tendencia europea, que son del orden de un 5 a 10% menores que los de AASHTO.⁴

⁴ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-6, 2-9.

Tabla 4: 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 la ABC “Diseño Geométrico”

Donde sea económico posibilitar el adelantamiento el proyectista procurará dar distancias de visibilidad mayores que las indicadas en la Tabla 4.

2.5 ALINEAMIENTO HORIZONTAL

La tendencia actual es evitar las rectas largas; pero al mismo tiempo trazar curvas sin un propósito definido no es recomendable. El alineamiento debe ser compuesto de suaves curvas que se adapten al terreno, como las que resultan de aplicar una regla flexible sobre la representación topográfica de la ruta. La curva que se presta mejor para este objetivo es la clotoide o espiral de transición. Sin embargo, se usarán alineamientos rectos en las zonas planas donde no existan justificaciones culturales o naturales que hagan recomendable una desviación del trazado. No obstante ello, al final de dichas rectas la primera curva deberá permitir una Velocidad Específica concordante con la V85% correspondiente.

En caminos de menor importancia se tratará de conseguir una buena adaptación al terreno, que perturbe el menos posible las formas naturales.

El alineamiento curvilíneo provee al usuario con un paisaje cambiante que lo revela de la monotonía y al mismo tiempo le evita, en los paisajes nocturnos, el deslumbramiento provocado por los faros, en forma prolongada.

2.5.1 Longitud Máxima en Rectas

Se procurará evitar longitudes en rectas superiores a:

$$Lr(m) = 20Vp$$

Dónde:

Lr = Largo en m de la alineación recta

Vp = Velocidad de proyecto de la carretera (Km/h)

En caminos bidireccionales de dos carriles, a diferencia de lo que ocurre en carreteras unidireccionales, la necesidad de proveer secciones con visibilidad para adelantar justifica una mayor utilización de rectas importantes. Sin embargo, rectas de longitudes comprendidas entre $8Vp$ y $10Vp$ enlazadas por curvas cuya Ve cubren adecuadamente esta necesidad.

2.5.2 Longitud Mínima en Recta

Se deben distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distinto sentido o curva en "S" de aquellas correspondientes a curvas en el mismo sentido.

2.5.2.1 Curva en “S”

- ✓ **En nuevos trazados** deberá existir coincidencia entre el término de la primera curva y el inicio de la segunda curva.
- ✓ **Tramos rectos intermedios de mayor longitud**, deberá alcanzar o superar los mínimos que se señalan en la Tabla 5, los que responden a una mejor definición óptica del conjunto que ya no opera como una curva en “S” propiamente tal, ya están dados por :

$$Lr \text{ min} = 1,4 Vp$$

Tabla 5: L Rmin entre Curvas de Diferente Sentido

Vp (Km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Lr (m)	56	70	84	98	112	126	140	154	168

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.5.2.2 Tramo Recto entre Curvas del Mismo Sentido

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

En la Tabla 6 entrega los valores deseables y mínimos según tipo de terreno y velocidad de proyecto.

Tabla 6:L Rmin entre Curvas del Mismo Sentido

Vp(Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Terreno Llano y Ondulado	-	110/55	140/70	170/85	195/98	220/110	250/125	280/150	305/190	330/250
Terreno Montañoso	25	55/30	70/40	85/50	98/65	110/90				

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

Los valores indicados corresponden a Deseables y Mínimos

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

2.5.3 Curvas Circulares

2.5.3.1 Elementos de la curva circular

En la Figura 4, se ilustran los diversos elementos asociados a una curva circular. La simbología normalizada que se define a continuación deberá ser respetada por el proyectista.

Las medidas angulares se expresan en grados centesimales (g).

Vn : Vértice; punto de intersección de dos alineaciones consecutivas del trazado.

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

⁵ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-18, 2-19.

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

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

T : Tangentes distancias iguales entre el vértice y los puntos de tangencia del arco de círculo con las alineaciones de entrada y salida (m). Determinan el principio de curva PC y fin de curva FC.

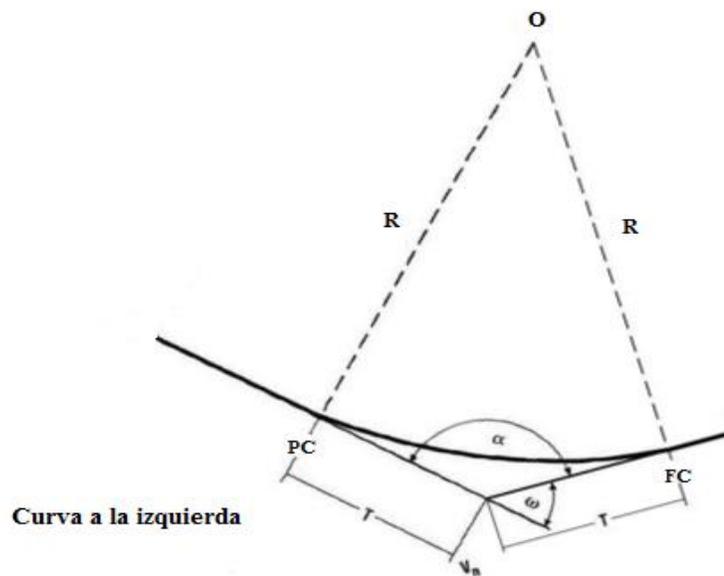
E : Bisectriz; distancia desde el vértice al punto medio, MC, del arco de círculo (m).

D : Desarrollo; longitud del arco de círculo entre los puntos de tangencia PC y FC (m).

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

S : Ensanche; sobreaño que pueden requerir las curvas para compensar el mayor ancho ocupado por un vehículo al describir una curva.

Figura 4: Curva Circular



Fuente: Manual de la ABC "Diseño Geométrico"

$$T = R * \tan * \frac{w}{2} \quad E = R(\sec \frac{w}{2} - 1) \quad Lc = 2R \sin \frac{w}{2} \quad f = R(1 - \cos \frac{w}{2})$$

$$Dc = \frac{2\pi R}{360} * w$$

2.5.3.2 Radios mínimos absolutos

Los radios mínimos para cada velocidad de proyecto, calculados bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento, están dados por la expresión:

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

Dónde:

Rmin : Radio Mínimo Absoluto (m).

Vp: Velocidad de Proyecto (Km/h).

e_{max} : Peralte Máximo correspondiente a la carretera o el camino (m/m).

f : Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a Vp.⁶

⁶ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-20.

Tabla 7: Radios Mínicos Absolutos en Curvas Horizontales

Caminos - Colectores - Locales - Desarrollo			
V_p (Km/h)	e_{max} (%)	f	R_{min} (m)
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180
80	7	0,132	250
Carreteras - Autopistas - Autorutas - Primarios			
80	8	0,122	250
90	8	0,114	330
100	8	0,105	425
110	8	0,096	540
120	8	0,087	700

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.5.3.3 Coeficiente de Fricción Transversal Máximo Admisible

Los coeficientes de fricción transversal entre los neumáticos y el pavimento, son valores determinados experimentalmente, que tienen en cuenta: condiciones medias del vehículo (suspensión, neumáticos, características dinámicas), de la calzada (rugosidad, presencia de agua) y del conductor y pasajeros (habilidad, ángulo de deriva, confort) las cuales son consideradas normales y admisibles.

Tales coeficientes, si no son superados, proporcionan aceptablemente la seguridad de que no se producirá el desplazamiento del vehículo y de que el conductor y los pasajeros no tendrán sensaciones de incomodidad cuando el vehículo circula por la curva a la velocidad directriz o de diseño. El coeficiente de fricción está representado por la siguiente fórmula:

$$f = 0,196 - 0,0007 * Vp$$

Dónde:

f : Coeficiente de Fricción

Vp : Velocidad de Proyecto

Los valores máximos admisibles adoptados, se indican en la siguiente tabla:

Tabla 8: Valores Admisibles del Coeficiente de Fricción Transversal "f"

Velocidad Directriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110
F	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12

Fuente: Manual de la ABC "Diseño Geométrico"

2.5.3.4 Peralte Máximo

La única fuerza que se opone al deslizamiento lateral del vehículo es la fuerza de fricción desarrollada entre las llantas y el pavimento. Esta fuerza por sí sola, generalmente, no es suficiente para impedir el deslizamiento transversal; por lo tanto,

será necesario buscarle un complemento inclinando transversalmente la calzada. Dicha inclinación se denomina **peralte**.

El peralte máximo que será adoptado está restringido por diversos factores, tales como:

- ✓ Gran probabilidad de que el flujo de tránsito opere a velocidades significativamente menores a la velocidad del proyecto, debido a la proporción de vehículos comerciales, a las condiciones de pendientes o al congestionamiento.
- ✓ Velocidad de proyecto de categoría del proyecto.
- ✓ Longitud de transición del peralte que resulte prácticamente viables, principalmente en los casos de dos curvas sucesivas. De sentido opuesto o en calzadas con muchos carriles.
- ✓ Razones económicas, que orienten el proyecto así a la utilización de estructuras existentes y la reducción de los costos de construcción y de mantenimiento.
- ✓ Condiciones climáticas de la zona donde se desarrolla el trazado, principalmente cuando existe la probabilidad de formación de hielo o de acumulación de nieve sobre la calzada.

Por otra parte, valores elevados de peralte permiten la adopción de menores radios, aumentando la viabilidad de trazados condicionados por severas restricciones operativas o topográficas.

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

Es preferible utilizar como límites máximos, los indicados como deseables; en situaciones especiales, para lograr viabilidad técnica o cuando las características de la

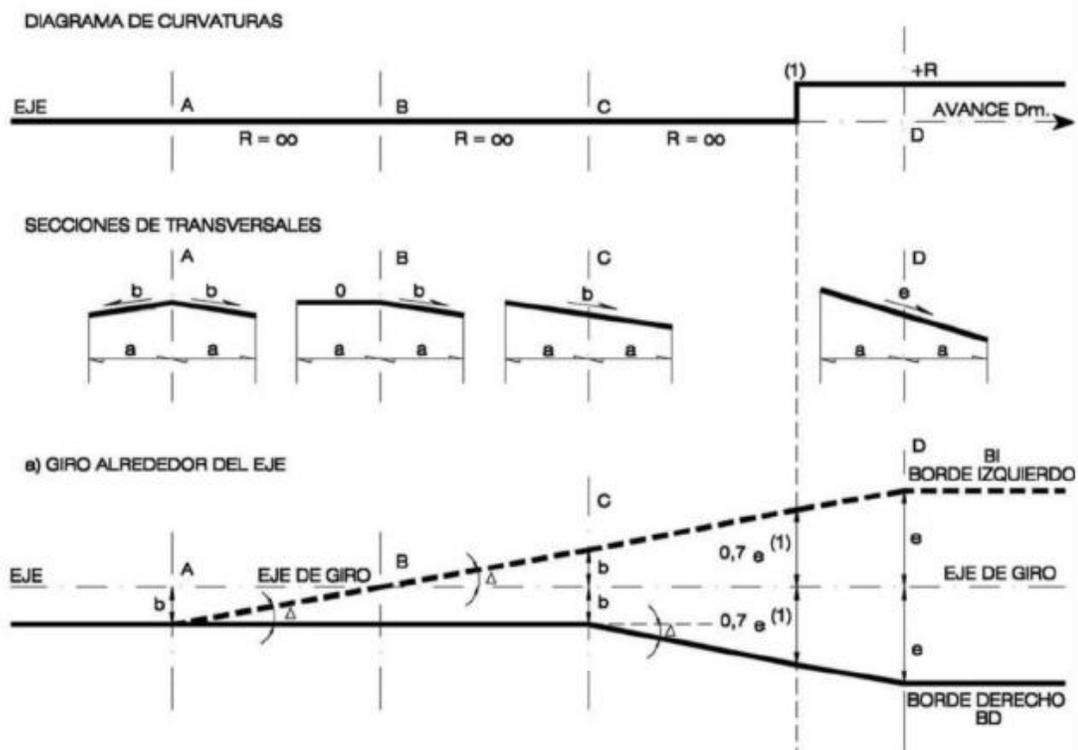
carretera induzcan a reducir los costos especialmente en zonas de topografía accidentada, se podrán utilizar los límites absolutos.

Tabla 9: Valores Máximos para Peralte y Fricción Transversal

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

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

Figura 5: Diagrama De Peralte



Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.5.3.4.1 Condicionantes para el desarrollo del peralte

a) *Proporción del peralte a desarrollar en recta*

Cuando no existe curva de enlace de radio variable entre la recta y la curva circular, el conductor sigue en la mayoría de los casos una trayectoria similar a una de estas curvas, la que se describe parcialmente en uno y otro elemento. Lo anterior permite desarrollar una parte del peralte en la recta y otra en la curva. Ésto porque en la parte de la recta vecina a la curva el conductor recorre una trayectoria circular que no hace demasiado incomoda una inclinación transversal mayor que el 2%, y porque en la parte de la curva vecina a la recta, el vehículo describe un círculo de radio mayor que el de diseño. En ciertas oportunidades, sin embargo, el tránsito en sentido contrario puede restringir la libertad para desarrollar esta maniobra y por tanto el peralte a desarrollar en recta, debe alcanzar a un mínimo que no incrementa peligrosamente el coeficiente de fricción transversal a utilizar en el sector inicial de la curva.

Tabla 10: Proporción del Peralte a Desarrollarse en Recta

Mínimo	Normal	Máximo
$e < 4,5$	$e = \text{todos}$	$e \leq 7$
$0,5e$	$0,7e$	$0,8e$

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

Las situaciones mínimas y máximas se permiten en aquellos casos, normalmente en trazado en montaña, en que por la proximidad de dos curvas existe dificultad para cumplir con algunas de las condicionantes del desarrollo del peralte.

b) *Longitud de curva con peralte total*

En caminos y carreteras con $V_p \geq 60$ Km/h, el diseño de las curvas de escaso desarrollo se deberá verificar de modo que el peralte total requerido se mantenga en una longitud al menos igual a $V_p/3,6$ (m), en lo posible para $V_{85\%} \geq 80$ Km/h en al menos 30 m.⁷

2.5.3.4.2 Desarrollo de peralte entre curvas sucesivas

Entre dos curvas de distinto sentido, el caso límite lo constituirá aquella situación en que no existe tramo en recta con bombeo normal, existiendo en dicho tramo un punto de inclinación transversal nula, a partir del cual se desarrollan los peraltes en uno y otro sentido.

Entre dos curvas del mismo sentido deberá existir, por condiciones de guiado óptico, un tramo en recta mínimo de acuerdo a lo establecido en Tabla 6. Si la distancia disponible entre el FC y PC de las curvas sucesivas es menor o igual que el mínimo deseable se mantendrá en la recta un peralte mínimo de igual sentido que el de las curvas y de una magnitud al menos igual a la del bombeo de la carretera.

2.5.3.5 Sobreechanco en curvas circulares

En curvas de radio pequeño y mediano, según sea el tipo de vehículos comerciales que circulan habitualmente por la carretera o camino, se deberá ensanchar la calzada con el objeto de asegurar espacios libres adecuados (huelgas), entre vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales y entre los vehículos y los bordes de las calzadas. El sobreechanco requerido equivale al

⁷ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-33.

aumento del espacio ocupado transversalmente por los vehículos al describir las curvas más las huelgas teóricas adoptada, (valores medios). El sobreancho no podrá darse a costa de una disminución del ancho de la berma o el SAP correspondiente a la categoría de la ruta.⁸

Tabla 11: Ensanche de Calzada S (m) (Permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo)

Tipo de Vehículo (Lt en m)	Parámetro de Cálculo (m)	S (m)	e _{int}	e _{ext}	Radios Límite (m)
CALZADA EN RECTA 7,0 m. (n=2) 0,5 m ≤ S ≤ 3,0 m S = e_{int}+e_{ext} h1= 0,6 m h2 = 0,4 m					
Camión Unid. Simple Lt = 11,0* Bus Corriente Lt = 12,0	Lo = 9,5	(Lo ² /R) - 0,2	0,65 S	0,35 S	30 ≤ R ≤ 130
Bus de Turismo Lt = 13,2* Bus de Turismo Lt = 14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	(Lo ² /R) - 0,2	0,65 S	0,35 S	30 ≤ R ≤ 160
Semitrailer Lt = 15,4	L1 = 5,6 L2 = 10,0	((L1 ² +L2 ²)/R) - 0,2	0,70 S	0,30 S	45 ≤ R ≤ 130
Semitrailer Lt = 18,6*	L1 = 5,6 L2 = 12,2				60 ≤ R ≤ 260
Semitrailer Lt = 22,4*	L1 = 5,6 L2 = 15,5				85 ≤ R ≤ 380
Si e _{int} calculado ≤ 0,35 m, se adopta e _{ext} = 0 y se da todo el ensanche S en e _{int}					
CALZADA EN RECTA 6,0 m. (n=2) 0,5 m ≤ S ≤ 3,0 m h1= 0,45 m h2 = 0,05 m					
Camión Unid. Simple Lt = 11,0* Bus Corriente Lt = 12,0	Lo = 9,5	(Lo ² /R) + 0,15	55 S	0,45 S	30 ≤ R ≤ 450

⁸ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-33.

Bus de Turismo Lt = 13,2* Bus de Turismo Lt = 14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	$(L_o^2/R) + 0,15$	55 S	0,45 S	$30 \leq R \leq 550$
Semitrailer Lt = 15,4	L1 = 5,6 L2 = 10,0	$((L_1^2+L_2^2)/R) + 0,20$	55 S	0,45 S	$45 \leq R \leq 650$
Semitrailer Lt = 18,6*	L1 = 5,6 L2 = 12,2	$((L_1^2+L_2^2)/R) + 0,20$	55 S	0,45 S	$60 \leq R \leq 850$
Semitrailer Lt = 22,4*	L1 = 5,6 L2 = 15,5	No corresponde a Caminos con Calzada 6,0 m			
Si e_{int} calculado $\leq 0,35$ m, se adopta $e_{ext} = 0$ y se da todo el ensanche S en e_{int}					

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

Tabla 12: Ensanche de la Calzada en Caminos con $V_p \leq 60$ Km/h Alternativa con Calzada en Recta 7,0 m ($n=2$) y $H_1 = 0,45$ m; $H_2 = 0,05$ $0,35 \leq S \leq 3,0$ m

Tipo de Vehículo (Lt en m)	Parámetro de Cálculo (m)	S (m)	e_{int}	e_{ext}	Radios Límite (m)
Camión Unid. Simple Lt = 11,0* Bus Corriente Lt = 12,0	Lo = 9,5	$(L_o^2/R) - 0,85$	0,55 S	0,45 S	$25 \leq R \leq 75$
Bus de Turismo Lt = 13,2* Bus de Turismo Lt = 14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	$(L_o^2/R) - 0,85$	0,55 S	0,45 S	$30 \leq R \leq 95$
Semitrailer Lt = 15,4	L1 = 5,6 L2 = 10,0	$((L_1^2+L_2^2)/R) - 0,80$	0,55 S	0,45 S	$35 \leq R \leq 115$
Semitrailer Lt = 18,6*	L1 = 5,6 L2 = 12,2	$((L_1^2+L_2^2)/R) - 0,80$	0,55 S	0,45 S	$50 \leq R \leq 155$
Semitrailer Lt = 22,4*	No corresponde a Caminos con Calzada 6,0 m				

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

El ensanche Total “S (m) se limitará a un máximo de 3,0 m y un mínimo de 0,5 m en calzadas de 7,0 m y a un máximo de 3,20 m y un mínimo de 0,35 m en calzadas de 6,0 m.

La columna “Radios Límite” indica que radios menores o mayores que los allí indicados requieren ensanches mayores o menores que los límites antes definidos.

En caminos locales y de Desarrollo con calzada de 6,0 m de ancho, pueden existir curvas con radios menores o iguales de 65 m, los que según sea el vehículo tipo considerado, requerían ensanches mayores que los máximos establecidos, no siendo posible entonces el cruce de dos vehículos tipo dentro de la curva; en estos casos solo se podrán cruzar dentro de la curva un vehículo comercial tipo y un vehículo liviano, debiendo los vehículos comerciales que requieren ensanches mayores hacerlo en los tramos rectos. Si no existen tramos rectos de longitud suficiente y se da una sucesión de curvas restrictivas respecto de los ensanches requeridos por el vehículo tipo considerado, se deberá estudiar uno más ensanches especiales al interior de dicho plano. Simultáneamente, el rango de radios que requieren ensanche crece significativamente para los vehículos tipo de mayor tamaño.

Considerando lo expuesto precedentemente, en caminos en que se consulte una calzada normal de 6,00 m de ancho , y una $V_p \leq 60$ Km /h, si existen tramos de trazado sinuoso con curvas cuyos radios estén en el orden de los mínimos correspondientes a la velocidad de proyecto (trazados en montaña o similares), se analizará la conveniencia y se propondrá a la Administradora Boliviana de Carreteras, ensanchar la calzada del tramo a 7,00 m de ancho y, considerar en las curvas huelgas iguales a las previstas para las calzadas de 6,00 m.

2.6 ALINEAMIENTO VERTICAL

Las cotas de eje en planta de una carretera o camino, al nivel de la superficie del pavimento o capa de rodadura, constituyen la rasante o línea de referencia del

alineamiento vertical. La representación gráfica de esta rasante recibe el nombre de Perfil Longitudinal del Proyecto.

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

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

Las curvas verticales de acuerdo entre dos pendientes sucesivas permiten lograr una transición paulatina entre pendientes de distinta magnitud y /o sentido, eliminando el quiebre de la rasante. El adecuado diseño de ellas asegura las distancias de visibilidad requerida por el proyecto. En todo punto de la carretera debe existir por lo menos la Visibilidad de Frenado.

El trazado del alineamiento vertical está controlado principalmente por la:

- ✓ Categoría del Camino.
- ✓ Topografía de Área
- ✓ Trazado el Horizontal y V_p
- ✓ Distancias de Visibilidad
- ✓ Drenaje Valores Estéticos y Ambientales
- ✓ Costos de Construcción

El sistema de cotas del proyecto se referirá en lo posible al nivel medio del mar, para lo cual se enlazarán los puntos de referencia del estudio con los pilares de nivelación del Instituto Geográfico Militar.

2.6.1 Ubicación de la Rasante Respecto del Perfil Transversal

La superficie vertical que contiene la rasante coincidirá con el eje en planta de la carretera o camino.

Cuando el proyectó considera calzada única, en la mayoría de los casos, el eje en planta será eje de simetría de la calzada. En carreteras unidireccionales con cantero central de hasta 13,00 m, el eje en planta normalmente se localiza en el centro del cantero central y la rasante de dicho eje se proyecta al borde interior de los pavimentos de cada calzada.

En carreteras unidireccionales con calzadas independientes, pueden ser necesarias dos rasantes cada una de ellas asociada al respectivo eje en planta, o al borde izquierdo de los pavimentos, según el sentido de circulación en cada una de ellas.⁹

2.6.2 Pendiente de la Rasante

2.6.2.1 Pendientes máximas

La Tabla 13 establece las pendientes máximas admisibles según la categoría de la carretera o camino.

⁹ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-64.

Tabla 13: Pendiente Máxima según Categoría de Carretera o Camino

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

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

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

El proyectista procurará utilizar las menores pendientes con la topografía en que se emplaza el trazado. Carreteras con un alto volumen de tránsito justifican económicamente el uso de pendientes moderadas, pues el ahorro en costos de operación y la mayor capacidad de la vía compensarán los mayores costos de construcción.

2.6.2.2 Pendientes máximas según la altura sobre el nivel del mar

En el camino de alta montaña, cuando se superan los 2500 m sobre el nivel del mar, la pendiente máxima deberá limitarse según la siguiente Tabla 14.¹⁰

¹⁰ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-65.

Tabla 14: Camino de Alta Montaña Pendientes Máximas % según Alturas S.N.M.

ALTURA S.N.M.	VELOCIDAD DE PROYECTO (Km/h)					
	30	40	50	60	70	80 ⁽¹⁾
2500 - 3000 m	9	8	8	7	7	7/5 ⁽¹⁾
3100 - 3500 m	8	7	7	6.5	6,5	6/5
Sobre 3500 m	7	7	7	6	6	5/4,5

(1) Valor máx Caminos/ Valor máx Carreteras

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.6.2.3 Pendientes mínimas

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

- ✓ Si la calzada posee un bombeo o inclinación transversal del 2% y no existen soleras o cunetas, se podrá excepcionalmente aceptar sectores con pendientes longitudinales desde hasta 0,2%.
- ✓ Si el bombeo es de 2,5%, excepcionalmente se podrán aceptar pendientes longitudinales iguales a cero.
- ✓ Si al borde del pavimento existen soleras la pendiente longitudinal mínima deseable será de 0.5% y mínima absoluta 0,35%.
- ✓ En zonas de transición de peralte en que la pendiente transversal se anula, la pendiente longitudinal mínima deberá ser de 0,5% y en lo posible mayor.

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

2.6.3 Curvas Verticales

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

$$\theta_{radianes} = (i_1 - i_2)$$

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

+ Pendiente de Subida según el avance de Dm.

- Pendiente de Bajada según avance de Dm.

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

La curva a utilizar en el enlace de rasantes será una parábola de segundo grado, que se caracteriza por presentar una variación constante de la tangente a lo largo del desarrollo, además de permitir una serie de simplificaciones en sus relaciones geométricas, que la hace muy práctica para el cálculo y replanteo.

La Figura 3 ilustra el caso de curvas verticales convexas y cóncavas e incluye las expresiones que permiten calcular sus diversos elementos.

La deflexión θ se repite como ángulo del centro para una curva circular de radio R, que es tangente a las rasantes a enlazar, en los mismos puntos que la parábola de segundo grado. La parábola y la curva circular mencionadas son en la práctica muy semejantes, tanto así que el cálculo teórico de la curva de enlace requerida por concepto de visibilidad se hace en base a la curva circular, en tanto que el proyecto y el replanteo se ejecutan en base a la parábola.

Bajo las circunstancias descritas el desarrollo de la curva vertical de enlace queda dado por:

$$Lv = R * \theta = R * (i_1 - i_2)$$

Donde i_1 y i_2 están expresados en m/m

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

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

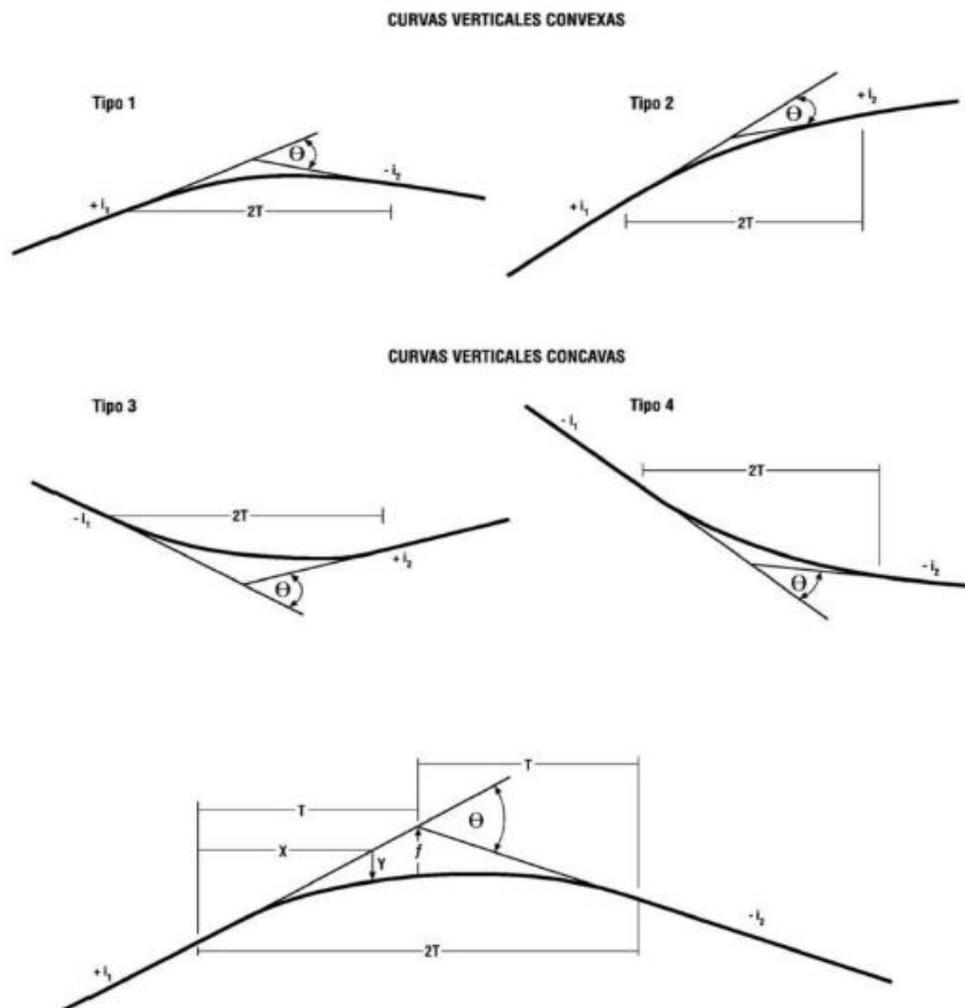
$$Lv = 2T$$

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

En definitiva, para todos los efectos de cálculo y replanteo, la longitud de la curva vertical de enlace está dada según medidas reducidas a la horizontal y es:¹¹

$$2T = K * \theta = K(i_1 - i_2)$$

Figura 6: Tipos de Curvas Verticales



¹¹ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-68.

2.6.3.1 Criterios de diseño para curvas verticales

- Las curvas verticales deben asegurar en todo punto del camino la visibilidad de frenado, ya sea que se trate de calzadas bidireccionales o unidireccionales.
- En calzadas bidireccionales, si las condiciones lo permiten, el proyectista podrá diseñar curvas de enlace por criterio de visibilidad de adelantamiento, con lo que se asegura sobradamente la visibilidad de frenado.
- El cálculo de curvas verticales presenta dos situaciones posibles, a saber:

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

- La presente norma considera como situación general el caso $Dv < 2T$ ya que: representa el caso más corriente, implica diseños más seguros y la longitud de curva de enlace resultante de $Dv > 2T$, normalmente debe ser aumentada por criterio de comodidad y estética.
- En curvas verticales convexas o cóncavas del tipo 1 y 3 (figura), la visibilidad de frenado a considerar en el cálculo del parámetro corresponde a la distancia de frenado de un vehículo circulando a una velocidad V^* en rasante horizontal. Ello en razón de que el recorrido real durante la eventual maniobra de detención se ejecuta parte en subida y parte en bajada, con lo que existe compensación del efecto de las pendientes. En curvas verticales del tipo 2 y 4 el tránsito de bajada requiere una mayor distancia de visibilidad de frenado, que resulta significativa para pendientes sobre -6% para velocidades \leq que 60 Km/h y -4%, para velocidades \geq 70 Km/h. en estos casos el parámetro de la curva vertical puede calcularse adoptando la distancia de visibilidad corregida (Tabla), o bien eligiendo el parámetro correspondiente a $V^* + 5$ Km/h, que da un margen de seguridad adecuado.

2.6.3.2 Parámetros mínimos por visibilidad de frenado

En curvas convexas la distancia de frenado sobre un obstáculo fijo situado sobre el carril de tránsito y la altura de los ojos del conductor sobre la rasante de este carril.

En curvas cóncavas, se considera la distancia de frenado nocturna sobre un obstáculo fijo que debe quedar dentro de la zona iluminada por los faros del vehículo.¹²

Tabla 15: Parámetros Mínimos en Curvas Verticales por Criterio de Visibilidad de Frenado

Velocidad de Proyecto	CURVAS CONVEXAS Kv			CURVAS CÓNCAVAS Kc
	Vp (Km/h)	V*= Vp Km/h	V*= Vp + 5 Km/h	Vp Km/h
30	300	300	300	400
40	400	500	600	500
50	700	950	1100	1000
60	1200	1450	1800	1400
70	1800	2350	2850	1900
80	3000	3550	4400	2600
90	4700	5100	6000	3400
100	6850	7400	8200	4200
110	9850	10600	11000	5200
120	14000	15100	16000	6300

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

¹² Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-70.

2.6.3.3 Parámetros Mínimos por Visibilidad de Adelantamiento

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

Tabla 16: Parámetro Mínimo de Curvas Verticales Convexas para Asegurar Visibilidad de Adelantamiento

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

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

Los valores de Ka que figuran en la Tabla precedente están calculados por $D_a < 2T$, que será el caso real toda vez que se tenga $V \geq 60$ Km/h. eventualmente, para velocidades muy bajas y θ moderados se cumplirá que $D_a > 2T$ y calculando con la expresión correspondiente, se logra reducir el parámetro requerido para asegurar D_a .

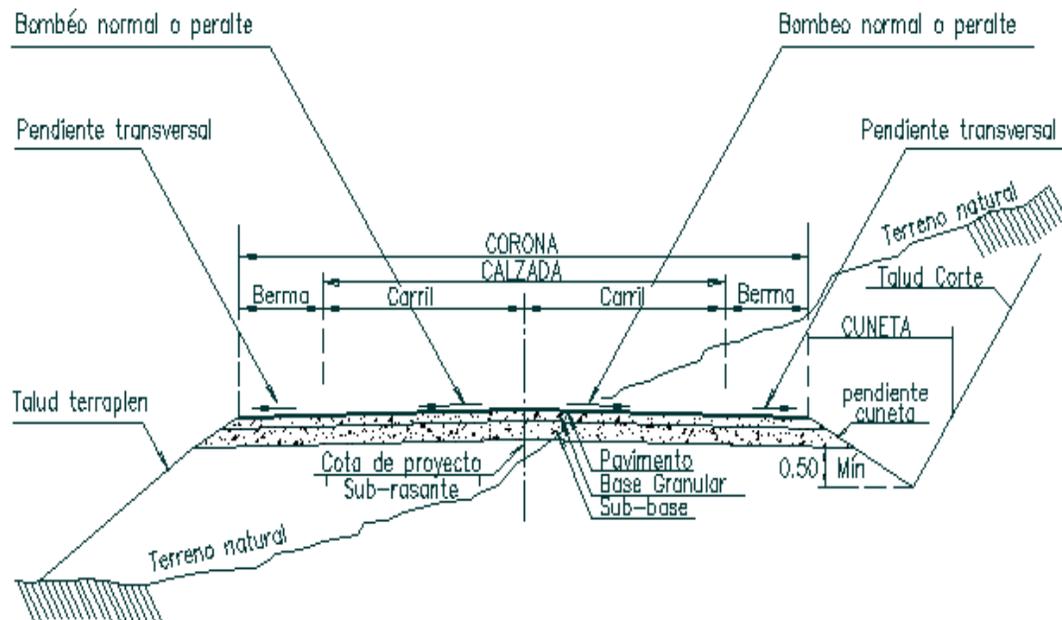
2.7 SECCIÓN TRANSVERSAL

La sección Transversal de una carretera o camino describe las características geométricas de éstas, según un plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera.

Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la vía, ya que ella resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e

interrelaciones dependen de las funciones que ellas cumplan y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.¹³

Figura 7: Sección Transversal y sus Partes



Fuente: Ingeniería de Caminos Rurales Ing. Gordon Keller

2.7.1 La Plataforma

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

El ancho de la plataforma será entonces la suma de los anchos de sus elementos constitutivos, cuyas características se definen en esta sección.

¹³ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 3. Pág. 3-1.

2.7.2 La Calzada

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

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

En el caso de carreteras o caminos con calzada bidireccional de dos carriles, cada uno de ellos podrá ser utilizado ocasionalmente por vehículos que marchan en el sentido opuesto, en el momento en que éstos adelanten a otros más lentos. En la Tabla 16 se resumen los anchos de calzadas, dados en función de la categoría de la vía y de la velocidad de proyecto que le corresponde.

Tabla 17: Anchos de Calzada según Categorías

NÚMERO DE CALZADAS Y CATEGORÍA		VELOCIDAD DE PROYECTO (Km/h)	ANCHO DE CALZADA "a" (m)	
CALZADAS UNIDIRECCIONALES	AUTOPISTA	120	3,5	
		100	3,5	
		80	3,5	
	PRIMARIO Y AUTORRUTA	100	3,5	
		90	3,5	
		80	3,5	
	COLECTOR	80	3,5	
		70	3,5	
		60	3,5	
CALZADA BIDIRECCIONAL	PRIMARIO	100	3,5	
		80	3,5	
	COLECTOR	80	3,5	
		70	3,5	
		60	3,0	
	LOCAL	50	3,0	
		40	3,0	
		DESARROLLO	30	2,0

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.7.3 Pendiente Transversal o Bombeo

En tramos rectos, las calzadas deberán tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura y de la Intensidad de la Lluvia de 1 Hora de Duración con el Periodo de Retorno de 10 Años (I_{10}^1) mm/h, propia del área en que se emplaza el trazado.

La Tabla 18 especifica estos valores indicando en algunos casos un rango dentro del cual el proyectista deberá moverse, afinando su elección según los matices de la rugosidad de las superficies y de los climas imperantes.¹⁴

Tabla 18: Bombeo de la Calzada

Tipo de Superficie	Pendiente Transversal	
	$(I_{10}) \leq 15 \text{ mm/h}^{(1)}$	$(I_{10}) > 15 \text{ mm/h}^{(1)}$
Pav. De Hormigón o Asfalto	2,0	2,5
Tratamiento Superficial	3,0 ⁽²⁾	3,5
Tierra, Grava , Chancado	3,0 - 3,5 ⁽²⁾	3,5 - 4,0

(1) Determinar mediante estudio hidrológico

(2) En climas definitivamente desérticos, se pueden rebajar los bombeos hasta un valor límite de 2,5 %

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

¹⁴ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 3. Pág. 3-9.

2.7.4 Bermas

Las bermas son franjas que flanquean el pavimento de la calzada. Ellas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial, o simplemente ser una prolongación de la capa de grava en los caminos no pavimentados.

2.7.4.1 Ancho de bermas

El ancho normal en caminos locales con $V_p = 40$ Km/h es de 0,50 m, el que en conjunto con el SAP proveen una plataforma de 8,0 m, En caminos de desarrollo que normalmente no poseerán pavimento superior, se podrá prescindir de las bermas, existiendo sólo el SAP como complemento para asegurar la estabilidad y adecuada compactación de la calzada.

Las bermas cumplen cuatro funciones básicas:

- ✓ Proporcionan protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo de verían afectadas por la erosión y la inestabilidad.
- ✓ Permiten detenciones ocasionales.
- ✓ Aseguran una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores, aumentando de este modo la capacidad de la vía.
- ✓ Ofrecen espacio adicional para maniobras de emergencia, aumentando la seguridad.

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

plataforma que confinan la estructura en las bermas y en los que se instalarán las barreras de seguridad y la señalización vertical.¹⁵

Tabla 19: Ancho de Bermas según Categoría y Vp

NÚMERO DE CALZADAS Y CATEGORÍA		VELOCIDAD DE PROYECTO (Km/h)	Ancho de Berma	
			"bi" INTERIOR (m)	"be" EXTERIOR (m)
CALZADAS UNIDIRECCIONALES	AUTOPISTA	120	1,2	2,5
		100	1,0	2,5
		80	1,0	2,5
	PRIMARIO Y AUTORRUTA	100	1,0	2,5
		90	1,0	2,5
		80	1,0	2,0
	COLECTOR	80	1,0	2,0
		70	0,6 - 0,7	1,5
		60	0,6 - 0,7	1,0
CALZADA BIDIRECCIONAL	PRIMARIO	100	-	2,5
		80	-	2,0
	COLECTOR	80	-	1,5
		70	-	1,0 - 1,5 ⁽²⁾
		60	-	0,5 - 1,0 ⁽²⁾
	LOCAL	50	-	0,5 - 1,0 ⁽²⁾
		40	-	0,0 - 0,5 ⁽²⁾
		30	-	0,0 - 0,5 ⁽²⁾
DESARROLLO				

Fuente: Manual de la ABC "Diseño Geométrico"

¹⁵ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 3. Pág. 3-11.

2.7.4.2 Pendiente transversal de bermas

En caminos y carreteras con calzada pavimentada, ya sea con hormigón, asfalto o tratamiento superficial, las bermas tendrán la misma pendiente transversal que la calzada, ya sea que ésta se desarrolle en recta o curva. Para tramos en recta la pendiente transversal o bombeo corresponde a la indicada en la Tabla 20.

En caminos sin pavimento, de las Categorías Locales y de Desarrollo, a los que se asocian bermas de un ancho máximo de 1,5 m y menores, en la práctica, no se distingue la zona correspondiente a la calzada de las bermas; consecuentemente, en ellas se mantendrá la pendiente transversal de la calzada, con los mínimos indicados en la Tabla 20 para tramos en recta.

2.7.5 Sobreanchos de Plataforma

La necesidad de proporcionar sobreancho a la calzada en las curvas horizontales obedece a la conveniencia de ofrecer condiciones de seguridad similares a los del ancho de esa calzada en los tramos rectos. Las razones que justifican ese sobreancho son:

- ✓ Un vehículo que recorre una curva horizontal, ocupan un ancho mayor que el propio porque las ruedas traseras recorren una trayectoria interior respecto a la descrita por las ruedas delanteras.
- ✓ El conductor experimenta cierta dificultad para mantener el vehículo en el centro del carril, debido al continuo cambio de dirección que se produce al recorrer una curva horizontal.

2.7.5.1 Dimensión de sobreanchos

La plataforma en terraplén tendrá siempre un SAP mínimo de 0,5 m que permita confinar las capas de subbase y base de modo que en el extremo exterior de la berma sea posible alcanzar el nivel de compactación especificado. Consecuentemente, en los 0,5 m exteriores del SAP no se podrá lograr la compactación máxima exigida por el resto de la plataforma por la falta de confinamiento y riesgo por pérdida de estabilidad del equipo de compactación autopropulsado. Toda vez que el SAP tenga un ancho mayor de 0,5 m, el ancho adicional adyacente a la berma deberá compactarse según las mismas exigencias especificadas para las bermas.

En plataformas en corte, si la cuneta es revestida, se podrá prescindir del SAP como parte de la sección transversal; no obstante ello, al extender las capas de subbase y base se colocará inicialmente un sobreancho de 0,5 m para poder compactar adecuadamente el borde exterior de las bermas, material que se retira posteriormente para conformar la cuneta. Si la cuneta no lleva revestimiento la sección transversal debe considerar un SAP de 0,5 m, para separar las capas estructurales de las aguas que escurren por la cuneta.

Si la plataforma en terraplén consulta la instalación de barreras de seguridad, salvo que se trate de Caminos Locales o de Desarrollo con $V_p \leq 50$ Km/h, el ancho mínimo del SAP será de 0,8 m, con el objeto de anclar el poste a 0,2 m del extremo exterior del SAP no invadir la berma con la barrera.

2.7.5.2 Pendiente transversal de sobreanchos

La Tabla 19 establece la pendiente transversal del SAP (%), según las distintas situaciones posibles, tanto para calzadas bidireccionales como para las unidireccionales, y en estas últimas, distinguiendo entre SAP exterior e interior.

Tabla 20: Pendiente Transversal del SAP

SIEMPRE	PENDIENTE TRANSVERSAL DEL SAP
EN RECTA	i_s SIEMPRE = -10%
ZONA TRANSICIÓN PERALTE	para $b \leq e \leq 0,0$; $i_s = -10\%$
EXTREMO ALTO DE LA PLATAFORMA	para $0,0 < e \leq 3\%$; $i_s = -(10-2e)\%$ para $e > 3\%$; $i_s = -4\%$
EXTREMO BAJO DE LA PLATAFORMA	para todo e ; $i_s = -10\%$
El i_s del SAP interior de las calzadas unidireccionales será de -8%, salvo para $e > -4\%$ en que $i_s = -4\%$	

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.7.6 Taludes

2.7.6.1 Taludes de terraplén desde el punto de vista de su estabilidad

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

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

Cuando los materiales lo permitan, los taludes de terraplén con alturas inferiores a 15 metros tendrán una inclinación máxima de 1:1,5 (H: V).

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

Si un terraplén debe cimentarse sobre suelos que presenten inclinaciones superiores al 20% o que estén constituidos por materiales inadecuados, se deberán considerar obras

especiales para minimizar los peligros de deslizamiento o de asentamientos diferenciales excesivos.

2.7.6.2 Taludes de terraplén desde el punto de vista de seguridad vial

Taludes de terraplén con inclinaciones comprendidas entre 1:3 y 1:4 (V: H), se consideran “transitables”, es decir un vehículo que se salga de la plataforma puede en la mayoría de los casos descender por el talud sin volcarse, y si en dicho trayecto y al pie del terraplén no existen obstáculos, y el terreno presenta una inclinación menor o del orden de un 5%, en definitiva el vehículo podrá ser detenido minimizando la severidad del accidente.

Taludes de terraplén con inclinaciones menores que 1:4 (V: H) se consideran “recuperables, es decir el conductor tiene la posibilidad de redirigir el vehículo hacia la plataforma del camino. Lo anterior será tanto más cierto cuanto más tendido sea el talud; por ejemplo 1:6 (V: H), sin embargo, el tendido de los taludes de los terraplenes tiene un costo importante por el mayor movimiento de tierras requerido.¹⁶

2.7.6.3 Taludes de corte

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

Dichas inclinaciones podrán ser únicas en un tramo del trazado, o bien presentar variaciones en un mismo perfil. Esto último en el caso de comprobarse las ventajas técnicas y/o económicas, o de otro tipo, de tal geometría.

¹⁶ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 3. Pág. 3-26.

Un talud de corte con más de una inclinación se puede dar en dos casos básicos. El primero, cuando la inclinación con la cual él se inicia, a partir del borde exterior del fondo de la cuneta, debe ser disminuida más arriba, tendiéndolo, al existir terrenos de inferiores características estructurales.

El segundo caso se presenta cuando se elige diseñar un talud de corte con bancos intermedios, por ser esta solución, en el caso estudiado, preferible a un talud más tendido, ya sea único o quebrado.

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

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

2.8 DIAGRAMA CURVA MASA

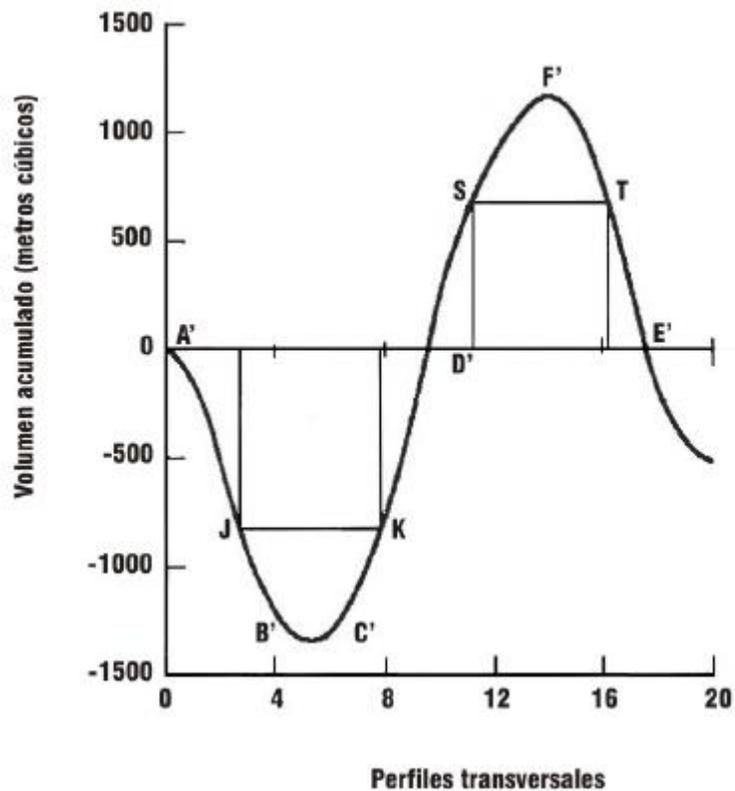
El diagrama de la curva masa es una serie de líneas unidas que describen la acumulación neta de corte o de relleno, entre dos perfiles transversales cualesquiera. La ordenada del diagrama de la curva masa es la acumulación neta en m^3 desde un punto inicial arbitrario. Entonces, la diferencia de ordenadas entre dos perfiles transversales cualesquiera representa la acumulación neta de corte y relleno entre estos perfiles transversales. Si se considera que el primer perfil transversal del camino es el punto inicial, entonces la acumulación neta en este perfil transversal es cero.

2.8.1 Interpretación del Diagrama de la Curva Masa

A partir de la Figura 4 se puede hacer las siguientes observaciones.

- Cuando el diagrama de la curva de la masa presenta una pendiente descendente (negativa) la sección anterior es un terraplén y cuando la pendiente es ascendente (positiva) la sección anterior es un corte.
- La diferencia de ordenadas en el diagrama de la curva de masa entre dos perfiles transversales cualquiera, representa la acumulación neta entre los dos perfiles transversales (corte y relleno).

Figura 8: Curva Masa



Fuente: Ingeniería de Caminos Rurales Ing. Gordon Keller

- Una línea horizontal en el diagrama de la masa define la ubicación para cuales, la acumulación neta es cero entre estos dos puntos. A éstos se les conoce como “puntos de balance”, porque existe un balance de volúmenes de corte y de relleno entre estos puntos. En la figura el eje “x” representa un equilibrio entre los puntos A’ y D’ y un equilibrio entre los puntos D’ y E’. más allá del punto E’ el diagrama de curva de masa indica una condición de relleno, para la cual no hay un corte que lo compense.
- Pueden dibujarse otras líneas horizontales que unan partes del diagrama de curva de masa. Por ejemplo, las líneas J-K y S-T, que tiene cada una cinco perfiles transversales de longitud describen un equilibrio de corte y de relleno entre los perfiles transversales en los puntos J-K y S-T.

2.9 CONTROL TOPOGRÁFICO

La topografía tiene un rol importante en la elaboración de proyecto de Ingeniería ya que es sobre planos topográficos donde se diseñan la mayoría de los proyectos y si éstos no han sido ejecutados con un adecuado control de calidad, los errores que pudieran contener afectarán necesariamente los diseños que sobre él se ejecuten, creando problemas al momento de ejecución de la obra, durante la cual se tendrán que adecuar o modificar los planos para adaptarlos a la forma real del terreno, causando pérdidas económicas al alterarse los costos y plazos de las obras.

La mejor manera de lograr que los trabajos topográficos se ejecuten en forma correcta es cuando los topógrafos conocen bien los alcances del trabajo a ejecutar, es decir, qué es lo que se requiere que hagan; conocer el grado de precisión exigido de acuerdo al uso para el cual se pide la topografía, lo que definirá el sistema de trabajo y tipo de equipo a utilizar y tengan un claro concepto de cómo funcionan los sistemas de procesamiento de información topográfica, especialmente el proceso de formación del modelo espacial del terreno para la interpolación de las curvas de nivel para que tengan el criterio correcto de cómo distribuir los puntos de relleno y la forma de

tomar los datos planimétricos que permitan un procesamiento ordenado y lógico de la data de campo.

2.9.1 Topografía para Proyectos

Todos los trabajos de levantamiento deberán efectuarse de acuerdo a los procedimientos y principios generales establecidos para el estudio planimétrico del estudio de carreteras.

La forma más adecuada de trabajar la topografía de un proyecto vial, debe seguir los siguientes pasos:

Paso 1. Establecimiento de una poligonal de apoyo enlazada al sistema de coordenadas UTM, mediante un enlace directo a puntos existentes del IGM u otro organismo que los haya establecido o mediante puntos de control satelital GPS ubicados aproximadamente cada 10 Km. que permitan conformar un sistema de poligonales cerradas.

Paso 2. Establecer una red de nivelación diferencial, con nivelación de ida y vuelta, colocando BENCH MARKS cada 500 m. Los BMs deben ser convenientemente monumentados mediante varilla de fierro o placa de bronce empotrada en concreto, o señalizados en roca firme, y ubicados en lugares fuera de las áreas de movimiento de tierras a fin de no ser disturbados durante las obras. Se hará una descripción del punto para una fácil ubicación.

Paso 3. Establecimiento de la poligonal de trazo, conformada por los puntos de intersección de los alineamientos del eje de trazo. La poligonal del trazo debe ser

enlazada a la poligonal de apoyo para el cálculo de las coordenadas respectivas y el control de la precisión de la misma.

Paso 4. Estacado del eje. Dada la facilidad de uso de los software de diseño vial que permiten obtener las coordenadas correspondientes al estacado del eje del trazo, es más recomendable realizar el estacado del eje por radiación a partir de los puntos de la poligonal, utilizando la función de replanteo de la estación total, luego de transferir la relación de coordenadas de la computadora a la estación total.

Paso 5. Levantamiento de secciones transversales. Las secciones deberán levantarse en una longitud suficiente para poder definir exactamente los volúmenes de tierra a mover, tanto en corte como en relleno, siendo recomendable que se extienda por lo menos 10,00 metros más allá del borde del talud en cortes y en pie del talud de relleno. Se levantarán las secciones transversales después de señalar la línea perpendicular al eje en cada estaca. Se tendrá especial cuidado para levantar secciones en posiciones intermedias cuando existan variaciones de relieve del terreno importantes que no hayan sido tomadas por el seccionamiento efectuado sobre el estacado. Así mismo, en lugares rocosos con fuerte pendiente transversal, se extremará el cuidado en la toma de las secciones transversales ya que errores de metros, especialmente en roca que son de alto costo de construcción, pueden originar costos adicionales en obra.

Paso 6. Los levantamientos topográficos necesarios para el diseño de obras de arte o estructuras especiales, pueden ser ejecutados por la radiación a partir de la poligonal de apoyo o puntos auxiliares establecidos para el efecto. Es también importante dejar un BM en cada zona donde se proyectará alguna obra de arte.

2.10 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

El análisis de precio unitario es el costo de una actividad por unidad de medida escogida. Usualmente se compone de una valoración de los materiales, la mano de obra, equipos y herramientas.

Para determinar un precio unitario es necesario primeramente la definición clara de los ítems de que estará compuesta una obra de acuerdo con el diseño final aprobado que normalmente debe cumplir los requisitos demandados por la sociedad y estar diseñados de acuerdo con las normas en vigencia para cada tipo de estructura.

Inicialmente se debe leer en detalle las especificaciones de cada ítem, así como los planos de diseño, para determinar si cada ítem se encuentra enmarcado en los requerimientos y determinar que materiales serán necesarios para su ejecución, así como qué equipo y mano de obra requiero para que se ejecute.

Para el cálculo del precio unitario es necesario considerar que existen dos tipos de costos en su estructura que se pueden mostrar en el cuadro y que son los:

- a) Costos directos
- b) Costos Indirectos

Los costos directos corresponden a:

- ✓ Materiales
- ✓ Equipo y herramienta
- ✓ Mano de obra.

Los costos indirectos corresponden a:

- ✓ Gastos generales
- ✓ Utilidad
- ✓ Impuestos

2.11 IMPACTO AMBIENTAL

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

2.11.1 Ficha Ambiental (FA)

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

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

2.11.2 Categorización del Proyecto

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

- 1.- Requiere de Estudio de Impacto Ambiental (EIA) analítica integral.
- 2.- Requiere de Estudio de Impacto Ambiental (EIA) analítica específica.
- 3.- No requiere de Estudio de Impacto Ambiental (EIA) analítica específica pero puede ser aconsejable su revisión conceptual.
- 4.- No requiere de Estudio de Impacto Ambiental (EIA).¹⁷

2.12 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

2.12.1 Estructural

2.14.2.1 Pavimento flexible y tratamiento superficial método AASHTO

Para el método de AASHTO la fórmula de diseño es:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left\{ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right\}}{\frac{0.40 + 1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

Dónde:

¹⁷ Ley 1333 del Medio Ambiente, Artículo 25

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

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

S_0 = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad.

M_R = Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN = Número Estructural.

Existen dos variables que deben tomarse en cuenta y son:

- ✓ El periodo de diseño.
- ✓ La vida útil del pavimento.

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

La vida útil del pavimento, es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad.

- ✓ **Periodos de Diseño**

Tabla 21: Periodo de Diseño

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño
Autopista Regional	20 – 40 años
Troncales suburbanas	15 – 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10 – 20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO -93) del IBCH

✓ Variables en Función del Tránsito

Esta variable es el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (80KN) o ESAL's. La conversión de una carga dada por eje a eje equivalente o ESAL's se hace a través de los factores equivalentes de carga.

✓ Confiabilidad

Este valor se refiere al grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su periodo de diseño en buenas condiciones.

Tabla 22: Niveles de Confiabilidad

Niveles de Confiabilidad	
Clasificación Funcional	Nivel Recomendado por AASHTO para Carreteras (%)
Carretera Interestatal o Autopista	80 - 99,9
Red Principal o Federal	75 - 95
Red Secundaria o Estatal	75 - 95
Red Rural o Local	50 - 80

Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO -93) del IBCH

Tabla 23: Valores de Z_R en la curva normal para diversos grados de Confiabilidad

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

Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO -93) del IBCH

✓ **Desviación Estándar Global S_0**

Valores de S_0 en los tramos de prueba AASHTO no incluyen errores en la estimación del tránsito; sin embargo, el error en la predicción del comportamiento de las secciones en tales tramos, fue de 0,25 para pavimentos rígidos y 0,35 para los flexibles, lo que corresponde a valores de la desviación estándar total debidos al tránsito de 0,35 para pavimentos rígidos y 0,49 para pavimentos flexibles.

✓ **Subrasantes expansivas**

En el caso de existir Subrasantes expansivas por efecto de la saturación, es necesario analizar la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) debido a esta causa, haciendo los análisis de laboratorio a los materiales existentes en el proyecto.

✓ **Criterios para determinar la serviciabilidad**

La serviciabilidad de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto).

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y serviciabilidad final; la inicial (P_0) es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final o terminal (P_t) va en función de la categoría del camino y se adopta en base a ésto y al criterio del diseñador; los valor que se recomienda por experiencia son:

Serviciabilidad inicial

$P_0 = 4.5$ para pavimentos rígidos.

$P_0 = 4.2$ para pavimentos flexibles.

Serviciabilidad final

$P_t = 2.5 - 3.0$ para vías con características de autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico.

$P_t = 2.0 - 2.5$ para vías con características de autopistas urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas interurbanas.

$P_t = 1.8 - 2.0$ para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

Módulo de Resiliencia Efectivo ponderado del material de subrasante (M_R)

La base del Método AASHTO – 93, para la caracterización de los materiales, tanto de la subrasante como los que conformarán las diferentes capas de la estructura, es la determinación del módulo elástico o resiliente.

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

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

$$M_R = 1500 * CBR (Psi)$$

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

$$M_R = 3000 * CBR^{0.65} (Psi)$$

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

$$M_R = 4326 * \ln CBR + 241 (Psi)$$

- ✓ **Determinación de espesores por capas**

Una vez obtenido el número estructural SN para la sección estructural del pavimento, utilizando la fórmula de diseño, se requiere ahora determinar una sección multicapa que en conjunto provea de suficiente capacidad de soporte equivalente al número estructural de diseño original. Se utiliza la siguiente ecuación para obtener los espesores de cada capa, tanto capa de rodadura, capa base y capa subbase:

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

Dónde:

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

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

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

Capacidad del Drenaje para remover la Humedad

Tabla 24: Calidad de Drenaje

Calidad del Drenaje	Agua Removida en :
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	agua no drena

Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO -93) del IBCH

Tabla 25: Valores mi recomendados para modificar los coeficientes estructurales de capa de bases y subases sin tratamiento, en pavimentos flexibles.

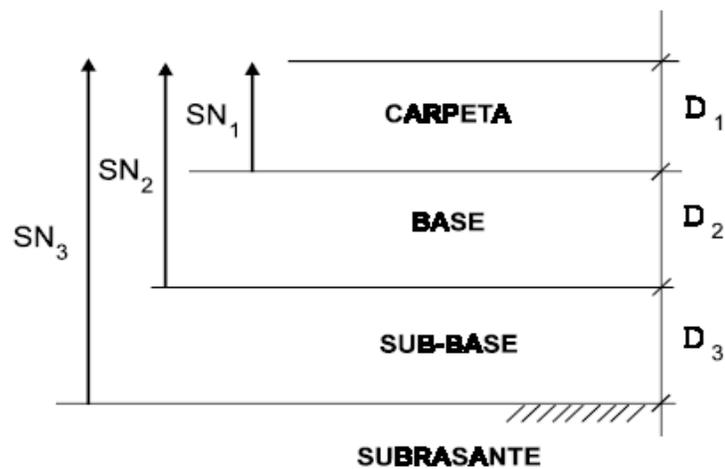
Calidad del Drenaje	Porcentaje de Tiempo al cual está expuesta la Estructura del Pavimento a Niveles de Humedad Próximos a la Saturación			
	menor del 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	Mayor del 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO -93) del IBCH

El método AASHTO recomienda el empleo de la siguiente figura y ecuaciones:

Recomendación de AASHTO

Figura 9: Método AASHTO



Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO -93) del IBCH

$$D^*_{*1} \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_{*1} = a_1 D^*_{*1} \geq SN_1$$

$$D^*_{*2} \geq \frac{SN_2 - SN^*_{*1}}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_{*1} + SN^*_{*2} \geq SN_2$$

$$D^*_{*3} \geq \frac{SN_3 - (SN^*_{*1} + SN^*_{*2})}{a_3 m_3}$$

Notas: 1.- a, D, m y SN

Corresponden a valores mínimos requeridos.

2.- D* y SN*

Representan los valores finales de diseño.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1 ANTECEDENTES

3.1.1. Antecedentes del Proyecto

Las poblaciones de Lagunitas y San Antonio no cuentan con un adecuado camino que une a éstas con la Presa ya que solamente existe un camino de acceso, el cual no cumple con las características técnicas, además se trata de un camino desarrollo; es por eso que se decidió realizar el presente estudio el cual permitirá dar solución a la necesidad que tienen estas comunidades, además de otras adyacentes a la ruta y también del Gobierno Autónomo Regional del Chaco Tarijeño Caraparí, de contar con el estudio a Diseño Final De Ingeniería Del Tramo Pavimentado Cruce Lagunitas - Presa San Antonio (Caraparí) con una longitud de 9.69 km.

Brindar un camino a la presa con el fin de permitir la operación de las compuertas y llaves tanto del sistema de conducción como del drenaje de fondo, además de generar un gran atractivo turístico que incremente los ingresos de la comunidad.

Este proyecto beneficiará a las comunidades de Lagunitas, San Antonio y Arenales ayudando a un total de 109 familias, las cuales mejorarán su calidad de vida ya que podrán utilizar esta carretera para sacar y vender sus productos agrícolas en las ciudades capitales o en otras poblaciones.

Además, este proyecto ayudará al desarrollo del turismo, pues las personas podrán llegar a la presa San Antonio gozando de una buena carretera y brindando la comodidad adecuada a todos los conductores que transiten por la misma.

En el presente estudio se realizará la aplicación de métodos de diseño de carreteras; para mejorar la transitabilidad y calidad de servicio del tramo Cruce Lagunitas- Presa San Antonio para brindar un mejoramiento académico con la realización del mismo.

3.1.2. Ubicación del Proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en el Distrito 2 del Municipio de Caraparí, Segunda Sección de la Provincia Gran Chaco del Departamento de Tarija, Bolivia. Específicamente, el proyecto une la Comunidad de Lagunitas con la Presa San Antonio, tiene una longitud aproximada 9.69 Km.

Geográficamente la comunidad de Lagunitas está ubicada entre los $21^{\circ}43'$ y $21^{\circ}44'$ de Latitud Sur y $63^{\circ}40'30''$ y $63^{\circ}43'$ de Longitud Oeste y a una altitud aproximada entre los 850 – 1.000 m.s.n.m. según carta del Instituto Geográfico Militar (IGM) Caraparí 6828 I escala 1:50.000.

Figura 10: Localización del Proyecto, Ámbito Nacional



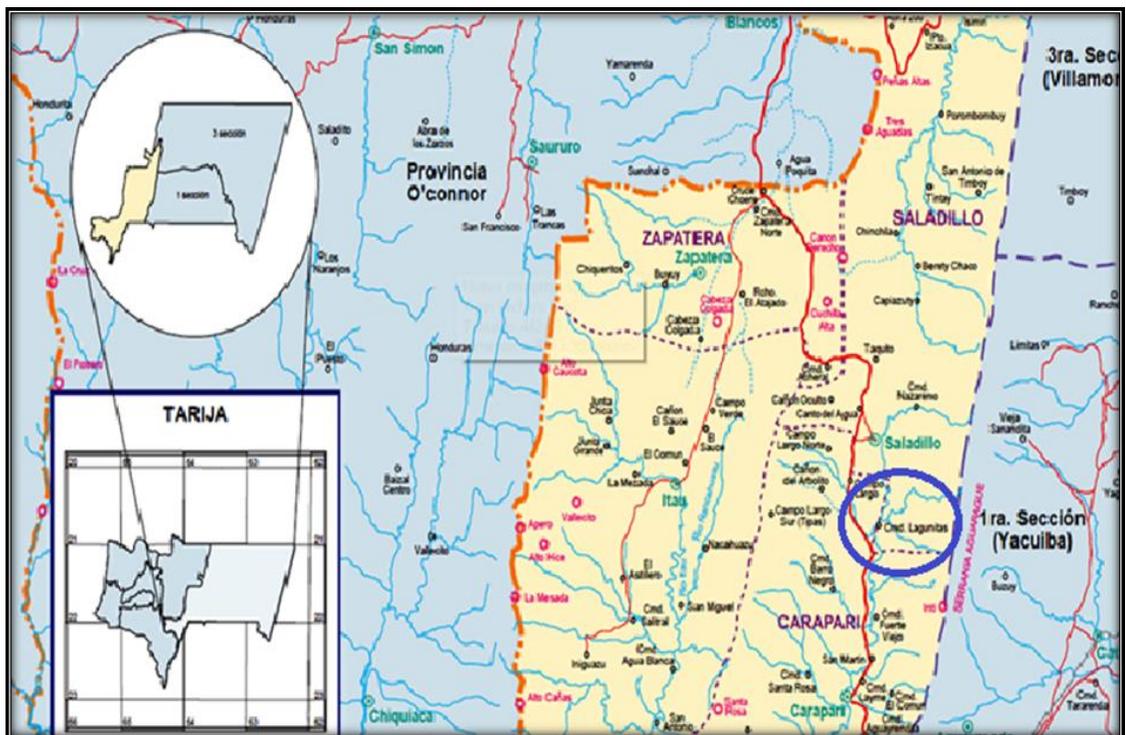
Fuente: Educa Bolivia

Figura 11: Localización del Proyecto, Ámbito Departamental



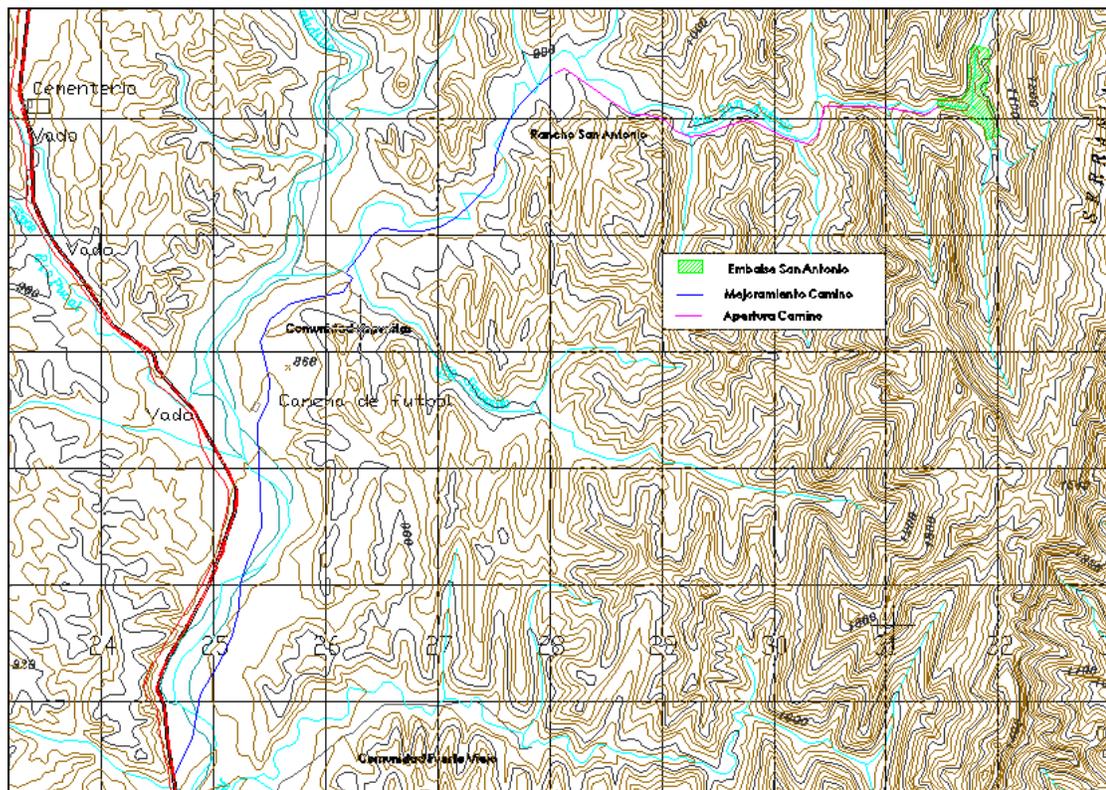
Fuente: Educa Bolivia

Figura 12: Localización del Proyecto, Ámbito Provincial



Fuente: INE

Figura 13: Carta Geográfica IGM 6828 I



Fuente: Instituto Geográfico Militar IGM

3.1.3. Importancia de la Carretera y del Tramo

Las poblaciones de Lagunitas y San Antonio no cuentan con un adecuado camino que une a éstas con la Presa ya que solamente existe un camino de acceso, el cual no cumple con las características técnicas; además se trata de un camino desarrollo; es por eso que se decidió realizar el presente estudio el cual permitirá dar solución a la necesidad que tienen estas comunidades, además de otras adyacentes a la ruta y también del Gobierno Autónomo Regional del Chaco Tarijeño Caraparí, de contar con el estudio a Diseño Final de Ingeniería del Tramo Pavimentado Cruce Lagunitas - Presa San Antonio (Caraparí) con una longitud de 9,687.12 km.

Brindar un camino a la presa con el fin de permitir la operación de las compuertas y llaves tanto del sistema de conducción como del drenaje de fondo, además de generar un gran atractivo turístico que incremente los ingresos de la comunidad.

Este proyecto beneficiará a las comunidades de Lagunitas, San Antonio y Arenales ayudando a un total de 109 familias, las cuales mejorarán su calidad de vida ya que podrán utilizar esta carretera para sacar y vender sus productos agrícolas en las ciudades capitales o en otras poblaciones.

3.1.4. Descripción General del Proyecto

Para el Proyecto: “Construcción Pavimento Cruce Lagunitas – Presa San Antonio (Caraparí)”, de acuerdo al planteamiento realizado, los componentes se describen de la siguiente manera:

- ✓ Se optimiza el alineamiento horizontal y vertical, tomando su proyección de tráfico para 20 años, tomando en cuenta las especificaciones de la norma para el diseño geométrico de carreteras para este tipo de caminos, según el manual de la Administradora Boliviana de Carreteras ABC.
- ✓ Construcción de la plataforma con la conformación del paquete estructural (Sub Base, Base, tratamiento superficial simple).
- ✓ Construcción de cunetas a lo largo del camino.
- ✓ Construcción de alcantarillas a lo largo del tramo en lugares donde sean necesarias.
- ✓ Se implementa el diseño horizontal y vertical de señalización de caminos.

3.1.4.1 Metas

- ✓ Mejoramiento de 9,687.12 m de camino de desarrollo o vecinal.
- ✓ Toda la longitud se ampliará en un ancho de 15.00 m.
- ✓ Radios de curvatura con un mínimo de 50 m.
- ✓ Implementación de señalización horizontal y vertical a lo largo del camino y los puentes.
- ✓ Se ha planificado la ejecución de cunetas a lo largo del camino.
- ✓ Incremento de la producción agrícola en un 60%.

3.2 INFORMACIÓN BÁSICA DEL ÁREA DEL PROYECTO

3.2.1. Aspectos Socio Agroeconómicos Generales

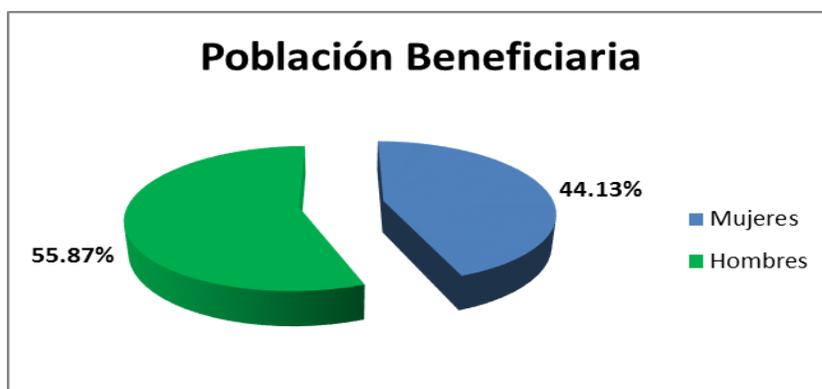
3.2.1.1 Población, comunidades, familias beneficiarias

La comunidades beneficiarias del proyecto, son Lagunitas y San Antonio, las mismas que tienen una población beneficiaria del Proyecto de 109 familias que viven en los diferentes sectores de las comunidades y considerados dentro del perímetro de riego del proyecto y 4 usuarios a nivel comunal o de grupo como son: Escuela, Centro PAN, Capilla y Centro de Acopio que tienen sus áreas de cultivo comunal.

Cuadro 3.2.1. 1: Población Beneficiaria del Proyecto

N°	Comunidades	Familias	Mujeres	Hombres	Total Habitantes
1	Lagunitas	80	134	178	312
2	San Antonio	29	54	60	114
	Total	109	188	238	426

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.2.1. 1: Población Beneficiaria

Fuente: Elaboración Propia

La población beneficiaria del proyecto, corresponde a las comunidades de Lagunitas y San Antonio, estas comunidades pertenecen al Cantón Saladillo, Distrito 2 del Municipio de Caraparí, provincia Gran Chaco del departamento de Tarija.

3.2.1.2 Composición Familiar

La composición familiar según la edad y sexo del total de la población de las comunidades beneficiarias del proyecto se muestra en el siguiente cuadro.

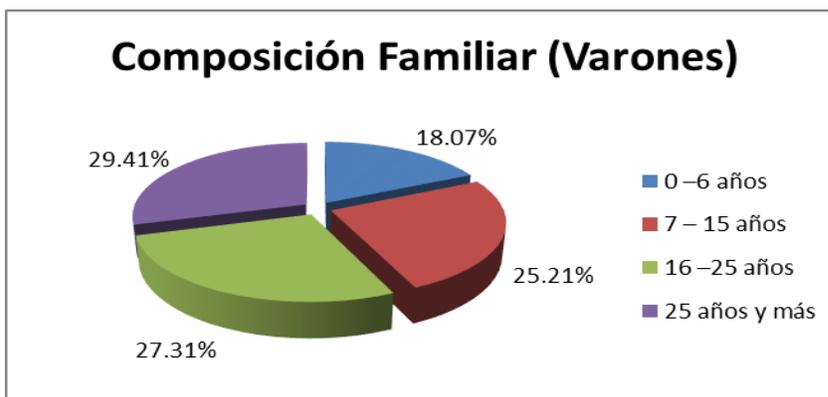
Cuadro 3.2.1. 2: Composición Familiar Edad y Sexo

Extracto De Edad(AÑOS)	Varones		Mujeres		Total	
	(Nº)	(%)	(Nº)	(%)	(Nº)	(%)
0 –6 años	43	18.07	38	17.32	81	19.01
7 – 15 años	60	25.21	43	21.26	103	24.18
16 –25 años	65	27.31	36	16.54	101	23.71
25 años y más	70	29.41	71	44.88	141	33.10
Total	238	100.00	188	100.00	426	100.00

Fuente: INE

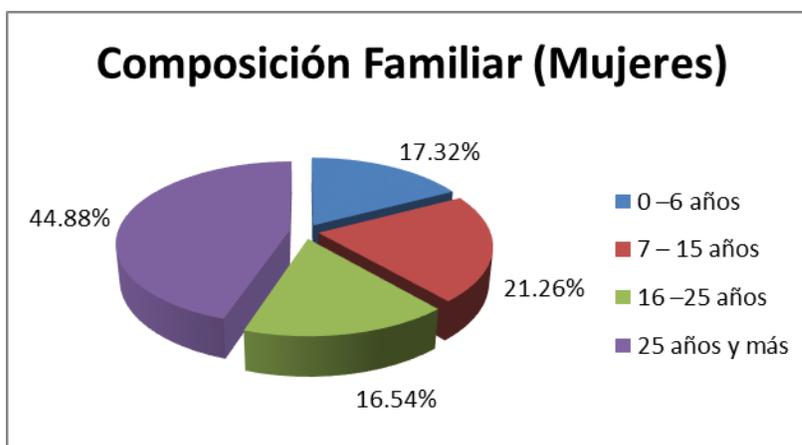
Como se observa en el cuadro anterior la mayor población corresponde al sexo masculino, sin embargo, el número promedio de miembros por familia es bajo (3,9 miembros/fam., o sea 4 miembros/familia) con relación al resto del departamento que es de 5 miembros por familia como promedio.

Gráfico 3.2.1. 2: Composición Familiar (Varones)



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.2.1. 3: Composición Familiar (Mujeres)



Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.3 Origen étnico de la población

Las poblaciones beneficiarias del proyecto en su gran mayoría (98%) está conformada por población de “Campesinos” de origen mestizo que son emigrantes de diferentes regiones del departamento de Tarija y el país que se fueron asentando en la

zona sistemáticamente desde hace muchos años atrás. Mientras que existe una pequeña minoría (menos del 2%) de población originaria (Guaraní).

Esta distribución de la población de acuerdo a su origen se refleja en el cuadro que sigue.

Cuadro 3.2.1. 3: Distribución de la Población

Comunidad	Familias Guaraní (Nº)	Familias Campesinas (Nº)	Total Familias (Nº)
Lagunitas	2	78	80
San Antonio	2	27	29
TOTAL	4	105	109

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.4 Educación

La educación de la población beneficiaria del proyecto tiene algunas deficiencias que no permite facilitar a los niños y jóvenes a una preparación adecuada y culminar el nivel secundario.

Cuadro 3.2.1. 4: Educación en la Zona del Proyecto

Comunidad	Centro Educativo	Grado O Nivel	Número De Alumnos	Número De Profesores
Lagunitas	Sí	6° primaria	63	1
TOTAL	1		63	4

Fuente: Elaboración Propia

La infraestructura educativa está en buen estado ya que hace pocos años atrás fue mejorada con el apoyo de las instituciones locales.

No existe deserción escolar en la presente gestión y el número de población infantil que no se inscribió a la escuela es mínimo.

3.2.1.5 Salud

Respecto a la salud de las poblaciones beneficiarias del proyecto, tiene bajo índice de cobertura y es deficiente, ya que no existe posta sanitaria y para atender su salud la población de Lagunitas acude al Hospital de Caraparí, distante 13 Km, donde existe un hospital con dos médicos, dos enfermeras, dos auxiliares y un odontólogo.

Cuadro 3.2.1. 5: Centros de Salud en la Zona del Proyecto

Comunidad	Centro De Salud	Donde Acuden Por Enfermedad	Enfermedades Más Frecuentes
Lagunitas	No	Caraparí, Yacuiba y Tarija	Gripes, Paludismo, Dengue, Chikungunya y Diarreas

Fuente: Elaboración Propia

Ante la carencia e insuficiencia de atención en centros hospitalarios con medicina de calidad, sumado a esto los bajos niveles de educación, producción e ingresos económicos, la población recurre a la medicina tradicional a través de médicos empíricos, curanderos y parteras para la atención sanitaria, para ello también usan una diversidad de plantas medicinales naturales de la zona.

Las enfermedades y tratamientos con la medicina tradicional, especialmente se refieren a: partos, diarreas, lastimaduras, soplazonos, marazones, asustaduras, mordeduras y picaduras de víbora, arañas, mico, etc.

3.2.1.6 Vivienda

Respecto a la vivienda de la población de la zona del proyecto, está caracterizada por ser de tipo rudimentario, con un promedio de 2-3 ambientes por vivienda, los mismos que son de uso múltiple, es decir que sirven de dormitorio, comedor, depósito, etc. reflejando un alto grado de promiscuidad y hacinamiento.

A pesar de la ejecución de un programa de mejoramiento de la vivienda encarado por una ONG y los comunarios, todavía se perciben ciertas falencias en este tema

Los materiales de construcción de estas viviendas en términos generales son: Pisos de tierra, paredes de adobe, piedra, etc.; techos de palos, barro, teja en algunos casos. Por otra parte la mayoría de las viviendas no disponen de servicios básicos. Estas condiciones de vivienda se traducen o inducen a la presencia de enfermedades y bajo nivel de vida de la población.

3.2.1.7 Servicios Básicos

En cuanto a los servicios básicos en la zona del proyecto, generalmente la población no dispone de **baños y servicio de eliminación de excretas**, haciendo sus necesidades básicas biológicas al aire libre con las consiguientes secuelas que esta situación genera.

Respecto al **agua potable**, existe un sistema de agua por tubería. Sin embargo, el suministro de agua no es adecuado por la calidad del servicio que se brinda en cuanto a calidad del agua, cantidad y oportunidad de dicho servicio, ya que actualmente el sistema está inhabilitado debido a la rotura de la tubería principal por derrumbes en diferentes sectores y la tardía respuesta de la población e instituciones para reparar el mismo.

En cuanto a los servicios de **electrificación rural**, sólo el 50% de la población de la comunidad de Lagunitas cuenta con el servicio de energía eléctrica a cargo de SETAR regional Caraparí, mientras que el restante 50% que corresponde principalmente al sector de San Antonio no cuenta con este servicio y tiene hacer uso de velas y otros productos para iluminar lo mínimamente necesario en la noche, aunque existe un proyecto para ampliar el servicio a toda la comunidad.

3.2.1.8 Vinculación vial, Servicios de transporte y comunicación

La zona del proyecto tiene **una vinculación vial** y se conecta a la capital de la provincia a través de la carretera principal Tarija-Caraparí- Yacuiba, es decir que esta carretera pasa cerca de la comunidad y de esta carretera, se deriva un camino vecinal de 4 Km. que vincula internamente a parte de la comunidad.

En cuanto a los **servicios de transporte**, existe un servicio de taxis regular a través de la carretera principal y cuando es requerido ingresa al interior de la comunidad que hace servicio regular a Caraparí y cuando se requiere a Yacuiba. Mientras que por la

carretera principal existe el servicio regular diario de las flotas que hacen servicio Tarija - Yacuiba y viceversa.

Existen algunos comunarios de la zona que cuentan con camiones y otro tipo de movilidades que también brindan el servicio de transporte de carga en forma irregular y esporádica.

Finalmente, ingresan a la zona medios de transporte particulares, especialmente camiones en busca de carga, como maíz, ganado bovino y ganado porcino.

En cuanto a los **servicios de comunicación**, solamente en Caraparí se dispone de servicio de Entel, Viva y Tigo que se conecta con el resto del país. Después otro medio de comunicación es radio local de Caraparí y Tarija.

3.2.1.9 Organización

A nivel de municipio, la población rural está organizada en torno a la federación Única de Comunidades Campesinas de Tarija, misma que a nivel del municipio tiene la Central de Comunidades Campesinas de Caraparí, la misma que se divide en subcentrales o distritos, en el caso de Lagunitas, corresponde a la subcentral o distrito 2 y a nivel comunal esta organización tiene la Organización Territorial de Base (OTB).

Cuadro 3.2.1. 6: Organización en la Zona del Proyecto

Comunidad	Organización	Autoridades	Nivel De Organización
Lagunitas	-Sindicato Agrario (OTB)	Carlos Cardozo	Buena
	- Centro Madres	Leucaria Jiménez	Regular
	- Corregidor	Fernando Romero	Regular
	- Comité del agua potable	Santos Solórzano	Regular
	- Comité de riego	Patricio Solórzano	Todavía incipiente

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.10 Principales actividades económicas de la población

Un aspecto a resaltar respecto a la población chaqueña es que, en contraste con el resto del país, posee mayor población masculina que femenina.

En el Chaco, el rubro económico más importante en la actualidad es la producción de hidrocarburos, sin embargo, dadas las características de esta actividad que ocupa mayor intensidad de capital y tecnología que mano de obra semicalificada y no calificada, no es la que mayor mano de obra local empleada, pues en consecuencia la población de la región y de la zona del proyecto está ligada a la agricultura y ganadería como actividades principales.

Cuadro 3.2.1. 7: Principales Actividades Económicas de la Población

Comunidad	Población Total (N° Fam.)	Agrícola (N° Fam.)	Ganado (N° Fam.)	Artesanía (N° Fam.)	Comercio (N° Fam.)	Jornal y T. Fuera Hogar (N° Fam.)
Lagunitas	80	80	55	5	7	30
San Antonio	29	29	15	3	5	20
Total	109	109	70	8	12	50

Fuente: Elaboración Propia

Del cuadro anterior, vemos que el 100% de las familias de la zona del proyecto realizan actividad agrícola en mayor o menor escala, siendo esta la actividad económica la principal, le sigue en orden de importancia la actividad ganadera con 70 familias dedicadas a este rubro y luego el trabajo fuera del hogar en busca de sustento familiar.

3.2.1.11 Migración

La **migración temporal** en la pasada gestión fue 15 personas conformada especialmente de la juventud tanto del sexo masculino como femenina con destino a lugares como Yacuiba, Tarija, Santa Cruz, Argentina y otros con motivo de busca de trabajo, desarrollando actividades agrícolas, construcción, servicios domésticos, etc.; el tiempo promedio de ausencia es durante 6 a 7 meses, (Mayo a Octubre), los cuales retornan para la siembra y para las fiestas tradicionales del lugar.

En cambio la **migración definitiva** se dio en los últimos 5 años se dio en 10 personas de ambos sexos (parejas) que se fueron en busca de trabajo y se quedaron a vivir en

otros lugares.

Según un análisis de la situación actual, la dinámica y orientación de estas emigraciones, se puede evidenciar que el proceso se da principalmente en hombres adultos y jóvenes de ambos sexos, estos últimos se ven forzados a migrar por la inactividad después de las faenas agrícolas y la falta de acceso a la educación humanística y superior.

Para esta población, la migración es una actividad complementaria con el fin de generar ingresos, no obstante la diferenciación es importante según la lógica de la base productiva, de la organización, sexo, edad, tiempo y el lugar de destino. Los principales motivos que causaron la migración fueron:

- a) Ausencia de programas que promueva el desarrollo económico y social de la población.
- b) Retraso subdesarrollo económico de la región.
- c) Desocupación por la falta de un sistema de riego que garantice la dotación hídrica permanente para diversificar la producción agrícola.
- d) Inaccessibilidad a una Educación Superior, etc.

3.2.2. Estudio de Tráfico

La demanda por una vía está determinada por el flujo de vehículos que circulan por ella. Éste flujo vehicular es comúnmente cuantificado como el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) que simplemente representa la cantidad de vehículos al día que circulan en promedio en ambas direcciones durante el año de referencia. Para caminos de desarrollo o vecinales se recomienda que la medición del TPDA esté disgregada en las siguientes categorías:

- ✓ Livianos
- ✓ Buses

✓ Camiones

Aunque en la mayoría de los casos no se espera que un camino de desarrollo o vecinal esté congestionado por altos volúmenes de tráfico vehicular, la información aquí registrada permitirá evaluar el potencial productivo y comercial del área de influencia del proyecto.

Se deberá realizar una estimación de la evolución futura de la demanda vehicular y su composición durante la vida útil del proyecto. Para esto será necesario estimar el desarrollo que tendrán las actividades productivas y a partir de eso derivar el tráfico asociado.

A continuación se muestra la clasificación vehicular que se realizó para el trabajo del conteo, el mismo que está de acuerdo a la clasificación del servicio nacional de caminos, que sirvieron para realizar la clasificación en la realización del trabajo de conteo de tráfico:

- Vehículos Livianos: automóviles, camionetas, jeep, vagonetas, otro livianos.
- Buses: Micro (22 asientos), omnibus (23-35 asientos) y ómnibus (36 asientos o más).
- Camiones: pequeño (6 Tn), mediano (6 -10 Tn), grande (10 o más Tn) y camiones con acoplado.

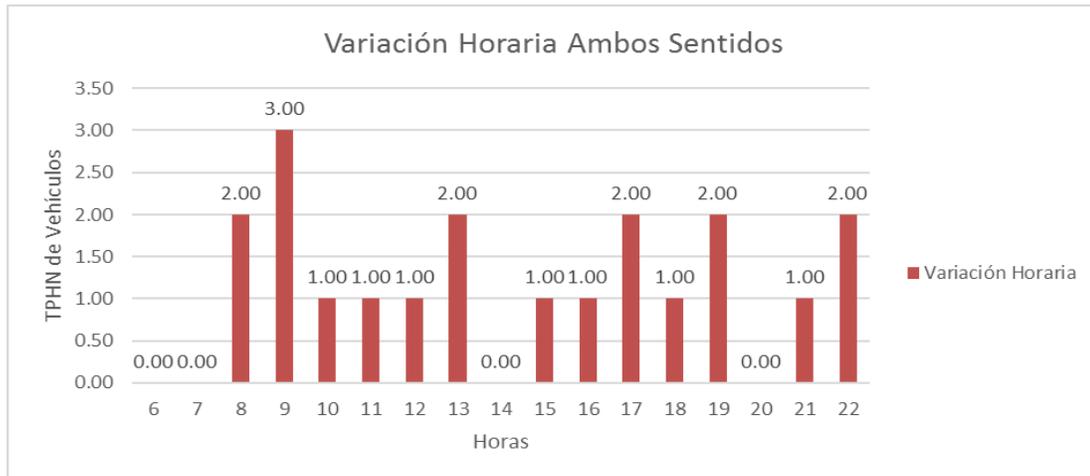
Se debe aclarar que el punto de conteo del flujo vehicular fue en la comunidad de Lagunitas, en el cruce Lagunitas sobre la carretera Caraparí – Palos Blancos – Entre Ríos – Tarija, para este efecto sólo se consideró el flujo vehicular con origen y destino en esta zona (área de influencia del proyecto), no así la circulación de vehículos desde otros puntos de origen (ciudad de Tarija, Entre Ríos, Caraparí, u otros).

Según datos recogidos en el campo de investigación del emplazamiento del proyecto el TPDA se muestra a continuación:

Cuadro 3.2.2. 1: Conteo en Ambas Direcciones**Conteo en Ambas Direcciones**

Día	Mes	Hora	Livianos				Buses			Camiones				Otros	Total
			Automóviles	Camionetas	Jeep-Vag.	Minibus	Micro 22 As.	Omnibus 23-35 As.	Omnibus ≥36As.	Peq < 6T	Med 6T a 10T	Grande ≥10T	C/ Acoplado		
Promedio 6 Días		6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		8	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
		9	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
		10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
		11	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
		12	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
		13	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
		14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		15	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
		16	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
		17	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
		18	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
		19	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
		20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		21	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
		22	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
Total			12.00	2.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00
%			60.00	10.00	0.00	10.00	10.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.2.2. 1: Variación Horaria Ambos Sentidos

Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla y el conteo realizado en ambas direcciones el TPD es:

$$\text{TPD} = 20 \text{ veh/día}$$

Cuadro 3.2.2. 2: Conteo en ambas direcciones TPD

Tipo de Vehículo		Cantidad	Porcentaje (%)
Livianos	Automóviles	16	80.00
Buses	Micro (hasta 22 asientos)	2	10.00
	Bus mediano (23 a 35 asientos)	0	0.00
	Bus grande (más de 36 asientos)	0	0.00
Camiones	Camión pequeño (hasta 5.5 ton)	2	0.00
	Camión mediano (de 6 a 9.5 ton)	0	10.00
	Camión grande (10 ton o más)	0	0.00
	Camión con acoplado	0	0.00
Total:		20	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3.2.2. 3: Tráfico Aforado

Tráfico Aforado	Sentido		Total
	Cruce Lagunitas	Presa San Antonio	
	10.00	10.00	
Factor Horario	1.00	1.00	1.00
TPD	10.00	10.00	20.00

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3.2.2. 4: Factor Estacional

Mes	2016	
	TPM	Factor Estacional
Enero	600	1.00
Febrero	600	1.00
Marzo	600	1.00
Abril	600	1.00
Mayo	600	1.00
Junio	600	1.00
Julio	600	1.00
Agosto	600	1.00
Septiembre	600	1.00
Octubre	600	1.00
Noviembre	600	1.00
Diciembre	600	1.00
TPDA=	20.0	

Fuente: Elaboración Propia

El TPDA para el año 2016 es:

$$\text{TPDA} = 20 \text{ veh/día}$$

3.2.2.1 Proyección del Tráfico

Para la proyección del tráfico en el diseño de carreteras, se usa un periodo de diseño de 20 años, estimar el tráfico más allá de ese periodo no se justifica, debido a que surgirán cambios en el la economía regional, en la población, en el desarrollo de la tierra y aún en los sistemas de transporte, para el proyecto definimos un periodo de diseño de:

$$n = 20 \text{ años}$$

El desglose para la proyección del tráfico se muestra a continuación:

- **Tráfico Normal**

Cuadro 3.2.2. 5: Tráfico Normal

Tramo	TPD	FEM	TPDA
Cruce Lagunitas - Presa San Antonio	10.00	1.00	10.00
Presa San Antonio - Cruce Lagunitas	10.00	1.00	10.00
Total Ambos Sentidos			20.00

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3.2.2. 6: Tasa de Crecimiento Promedio

Tasa de Crecimiento Promedio

Factores	Local %	Nacional %
Parque Automotor	9.62	9.65
Producto Interno Bruto	4.98	5.46
Índice de Crecimiento Poblacional	1.90	1.70
Tasa Promedio	5.50	5.60

Fuente: INE

Para la proyección del tráfico normal se utilizó la tasa de crecimiento promedio local entre el parque automotor, producto interno bruto y el índice de crecimiento poblacional el cual es de 5.50 %.

- **Tráfico Generado**

El mejoramiento de un camino determinado ocasiona el surgimiento del denominado Tráfico Generado, el cual se produce fundamentalmente por la reducción de los costos del transporte, disminución del tiempo de viaje, aumento de la comodidad, confort o seguridad del viaje.

En las carreteras de Bolivia de acuerdo al estudio del PMST se tiene como tráfico generado el 30% del tráfico normal para vehículos livianos y 10% para vehículos de carga, cuando se trata de una mejora de carretera no pavimentada a pavimentada.

- **Tráfico Derivado**

El tráfico derivado se produce cuando existen rutas paralelas, utilizando el tráfico la ruta de menor costo, la cual no necesariamente es la más corta. Por ellos, la

pavimentación de una carretera puede traer el tráfico de una ruta paralela, debido a las mayores velocidades que se imprimen en carreteras.

En caso de nuestro proyecto no existe tráfico derivado por lo que se trata de una carretera de desarrollo.

En la siguiente tabla se muestra el desglose para la proyección del TPDA:

Cuadro 3.2.2. 7: Proyección del TPDA - Tránsito Total

Proyección del TPDA - Tránsito Total

Periodo	Año	Tráfico Cruce Lagunitas - Presa San Antonio		
		Normal	Generado	Total
-1	2016	20		
0	2017	21		
1	2018	22	9	31
2	2019			33
3	2020			35
4	2021			37
5	2022			40
6	2023			43
7	2024			46
8	2025			49
9	2026			52
10	2027			55
11	2028			59

12	2029			63
13	2030			67
14	2031			71
15	2032			75
16	2033			80
17	2034			85
18	2035			90
19	2036			95
20	2037			101

Fuente: Elaboración Propia

El Tráfico Promedio Diario Anual de diseño es:

$$\text{TPDA}_{\text{Diseño}} = 101 \text{ Veh/día}$$

3.3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

3.3.1. Descripción de Posibles Alternativas

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

3.3.1.1 Alternativa 1

Esta alternativa comprende la construcción de la carretera con Tratamiento Superficial Simple; además tiene una longitud de 9.69 Km.

Por otra parte, esta alternativa según el diseño y trazo de la misma, presenta las siguientes características:

- ✓ Largo Virtual.- Tiene un largo virtual de aproximadamente 9.69 Km.
- ✓ Pendientes.- Cuenta con tramos de pendiente natural fuerte del orden de 9 – 10%
- ✓ Tipo de Suelo.- En todo el tramo presenta terreno común con pequeños afloramientos de roca los últimos dos kilómetros.
- ✓ Número de Obras de Arte.- El número de obras de arte asciende a siendo el detalle el siguiente:
 - ♣ 2 puentes
 - ♣ 18 alcantarillas de alivio
 - ♣ 10 alcantarillas de cruce o de paso
 - ♣ Taludes de corte en roca de 1:8 (H :V) y en suelo de 1:2 (H :V)
 - ♣ Taludes de relleno de 1:1.5 (H :V)
 - ♣ Construida con tratamiento superficial simple

3.3.1.2 Alternativa 2

Esta alternativa plantea la construcción del camino con un Pavimento Flexible, con una longitud de 8.66 Km.

La alternativa según su diseño y trazo presenta las siguientes características:

- ✓ Largo Virtual.- Tiene un largo virtual de aproximadamente 8.66 Km.
- ✓ Pendientes.- Cuenta con tramos de pendiente natural fuerte del orden de 9 – 10%.
- ✓ Tipo de Suelo.- En todo el tramo presenta terreno común con pequeños afloramientos de roca los últimos dos kilómetros.
- ✓ Número de Obras de Arte.- El número de obras de arte asciende a siendo el detalle el siguiente:

- ♣ puentes
- ♣ 18 alcantarillas de alivio
- ♣ 11 alcantarillas de cruce
- ♣ Muros de contención
- ♣ Construida con pavimento Flexible

3.3.2. Selección de la Alternativa

Por lo expuesto en el párrafo anterior se recomienda como **alternativa elegida la alternativa 1**, por presentar mayores ventajas ante la otra alternativa expuesta.

3.3.3. Parámetros de Diseño

Los criterios de diseño empleados fueron extraídos del “Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras” de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) de nuestro país.

El diseño geométrico fue realizado contemplando el menor movimiento de tierras, el paso por puntos obligados horizontales y verticales y sin sobrepasar le pendiente longitudinal máxima y el radio mínimo de curvatura.

El movimiento de tierras fue realizado examinando la compensación entre volumen de corte y relleno.

El diseño de obras de arte menor tomó mucha importancia con el objeto de que el camino no pierda transitabilidad en épocas de lluvias.

El proyecto “Construcción Pavimentado Cruce Lagunitas – Presa San Antonio – Caraparí”, contempla la construcción con tratamiento Superficial Simple de 9.69 Km. con carpetas de sub base, base y capa de rodadura asfáltica.

3.4 INFORMACIÓN BÁSICA DEL PROYECTO

3.4.1. Clasificación del Tramo en Estudio

De acuerdo al manual de Diseño Geométrico de la ABC de nuestro país, el tramo en estudio se clasifica de acuerdo a la Tabla 26: Clasificación Funcional para Diseño de Carreteras y Caminos Rurales; la clasificación adoptada para el diseño geométrico del camino Cruce Lagunitas – Presa San Antonio – Caraparí es:

Tabla 26: Clasificación Funcional para Diseño de Carreteras y Caminos Rurales

CATEGORÍA	SECCIÓN TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (Km/h)	CÓDIGO TIPO
	Nº CARRILES	Nº CALZADAS		
DESARROLLO	2 BD	1	40	D - 40

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

Tomando en cuenta, este nos sugiere el tipo de capa de rodadura para este tramo de carretera, de acuerdo a su clasificación éste tendría una capa de rodadura de estabilización con grava; sabiendo que nuestro camino en estudio será una vía muy importante para la conexión y comunicación de las comunidades beneficiarias de la zona y que por otra parte debe ser transitable todo el año, adoptaremos una capa de rodadura de:

Capa de Rodadura = Tratamiento Superficial Simple

3.4.2. Pendiente

La pendiente es el parámetro de diseño geométrico que nos indica la inclinación que tendrá la superficie de rodadura del camino por donde circulará el tráfico vehicular; además, dependerá de ella la magnitud del movimiento de tierras; que pueda tenerse en un determinado proyecto.

Las pendientes suaves o bajas obligan a altos costos de construcción sobre todo en aquellas regiones topográficamente desfavorables debido al mayor movimiento de tierras, influyen sin embargo en el costo de transporte porque disminuye la velocidad, aumenta el gasto de combustible por kilómetro y el desgaste de los vehículos, especialmente en los neumáticos; además, cuando un vehículo se encuentra descendiendo por un tramo de carretera con pendiente fuerte requiere de una mayor distancia para detenerse debido a la mayor velocidad, lo cual puede tener un efecto adverso sobre la seguridad. Por todo lo anterior, la selección de las pendientes y sus longitudes aplicables al diseño de un tramo de camino, debe efectuarse teniendo en cuenta un conjunto coherente de consideraciones técnicas y operativas.

3.4.2.1 Pendiente máxima

La pendiente máxima es la máxima inclinación que podrá tener un determinado tramo de carretera y debe ser tomada en cuenta en el momento del trazado altimétrico.

La pendiente longitudinal máxima adoptada según la Tabla 13 Pendiente Máxima Según Categoría de la Carretera o Camino; para el diseño geométrico del camino Cruce Lagunitas -Presa San Antonio – Caraparí es igual a:

$$i_{max} = 10 - 9 \%$$

3.4.3. Peralte

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

3.4.3.1 Peralte máximo admisible

El peralte máximo que será adoptado restringido por diversos factores, tales como:

- ✓ Gran probabilidad de que el flujo de tránsito opere a velocidades significativamente menores a la velocidad directriz, debido a la proporción de vehículos comerciales, a las condiciones de pendiente o al congestionamiento.
- ✓ Velocidad directriz y categoría del proyecto.
- ✓ Longitud de transición del peralte que resulte prácticamente viables principalmente en los casos de dos curvas sucesivas, de sentido opuesto o en calzadas con muchos carriles.
- ✓ Razones económicas, que orienten el proyecto hacia la utilización de estructuras y la reducción de los costos de construcción y de mantenimiento.
- ✓ Desarrollo urbano adyacente a la carretera.

Condiciones climáticas de la zona en la cual se desarrolla el trazado, principalmente cuando existe la probabilidad de formación de hielo o acumulación de nieve sobre la calzada.

Por otra parte, valores elevados del peralte permiten la adopción de menores radios, aumentando la viabilidad de trazados condicionados por severas restricciones operativas o topográficas.

Por razones de homogeneidad, el peralte máximo adoptado debe ser mantenido a lo largo de un tramo considerable del trazado del camino, ya que ese valor servirá de

base para la adopción de radios de curvatura circular superiores al mínimo, las que obviamente estarán dotadas de un peralte menor.

En el siguiente cuadro se indican los máximos valores de peralte recomendados según la ABC, en función de la velocidad de diseño donde se emplazará en tramo:

Tabla 27: Velocidad de Diseño

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

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

El peralte adoptado según la Tabla 9: Valores Máximos para Peralte y Fricción Transversal, para el diseño geométrico del camino Cruce Lagunitas – Presa San Antonio – Caraparí es igual a:

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

3.4.4. Radio de Curvatura

El radio geoméricamente se define como la línea recta tirada desde el centro del círculo a cualquier punto de la circunferencia. Desde el punto de vista vial, el radio de curvatura es aquel parámetro de diseño geométrico que define la curvatura de un arco de circunferencia a través de su longitud; es así que a mayor radio corresponde menor curvatura y a menor radio corresponde mayor curvatura. Este parámetro está muy relacionado con otro parámetro de diseño que es el peralte o sobreelevación.

3.4.4.1 Radio mínimo de curvatura

El radio mínimo de curvatura es el valor límite de éste para una determinada velocidad de proyecto, calculado según el máximo valor de peralte y el máximo coeficiente de fricción transversal.

El radio mínimo de una curva circular calculando con el criterio de seguridad al deslizamiento y confort para el conductor, responde a la siguiente expresión:

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

Dónde:

R_{min} : Radio Mínimo Absoluto (m).

V_p : Velocidad de Proyecto (Km/h).

e_{max} : Peralte Máximo correspondiente a la carretera o el camino (m/m).

f : Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a V_p .

El radio mínimo adoptado de la Tabla 7: Radios Mínimos Absolutos en Curvas Horizontales, es igual a:

Caminos - Colectores - Locales - Desarrollo			
V_p (Km/h)	e_{max} (%)	f	R_{min} (m)
40	7	0,198	50

El radio mínimo calculado por la fórmula dada es igual a: $R_{min} = 47$ m.

El radio mínimo adoptado para el diseño geométrico del camino Cruce Lagunitas –

Presa San Antonio – Caraparí, es igual a:

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

3.4.5. Sección Transversal

Se entiende por sección de una carretera al corte transversal de la misma que nos permite visualizar con claridad las dimensiones de sus elementos, los cuales son: calzada, berma, cuneta, talud de corte y talud de relleno. Estos elementos influyen sobre las características operativas, estéticas y de seguridad del camino.

El diseño de la sección transversal de un camino es un problema al cual hay que prestarle bastante atención ya que ello influye fundamentalmente en la capacidad de la vía y en los costos de construcción, conservación y explotación del camino. Una sección reducida será económica, pero su capacidad también será reducida. Por otro lado, una sección amplia tendrá una buena capacidad, pero será costosa. De aquí, el diseño de la sección transversal debe realizarse con visión del futuro y con miras a construir lo que sea necesario en el presente, pero dejando una manera fácil y económica para la ampliación futura.

3.4.6. Calzada

Se define como calzada la parte del camino destinada a la circulación de los vehículos y está constituida por uno o más carriles. El ancho y el estado de la superficie de la calzada tienen gran influencia en la seguridad y confort del usuario del camino.

El ancho de la calzada adoptado según la Tabla 17: Anchos de Calzadas según Categorías, para el diseño del camino Cruce Lagunitas – Presa San Antonio – Caraparí, es igual:

Ancho de Calzada = 6 m.

3.4.7. Pendiente Transversal

La pendiente transversal es la inclinación que se le da a la sección de la carretera, la cual debe ser suficiente para asegurar un adecuado escurrimiento de las aguas superficiales, para evitar que la infiltración afecte la estructura del pavimento y para disminuir las posibilidades de formación de láminas de agua peligrosas durante la circulación de los vehículos.

Las pendientes transversales elevadas son ventajosas para acelerar el escurrimiento superficial; sin embargo, son preferibles pendientes transversales bajas por motivos estéticos y de confort en la conducción y por el menor desvío lateral que el conductor debe corregir en la circulación normal; este desvío lateral adquiere mayor importancia en casos de frenado brusco, de viento fuerte lateral o de calzada enlodada.

La pendiente transversal adoptada según Tabla 18: Bombeo de Calzada; para el camino Cruce Lagunitas – Presa San Antonio – Caraparí, es igual a:

Bombeo = 3,5%

3.4.8. Ancho de Berma

Las bermas son la parte del camino contigua a la calzada, comprendida entre el borde exterior del carril y el borde interior de la cuneta o del talud según sea la sección en corte o en terraplén. Las bermas reciben también las denominaciones de banquetas, hombrillos, arcenes y acotamientos.

Las bermas cumplen las siguientes funciones fundamentales:

- ✓ Permiten que los conductores con momentánea pérdida de control del vehículo o los obligados a realizar maniobras de emergencia para evitar, puedan salir de la calzada y retornar a la misma en condiciones de seguridad razonables. A mayor volumen de tránsito, mayor es la probabilidad de que se utilicen las bermas en casos de emergencia.
- ✓ Proporcionan un lugar seguro, para estacionar los vehículos con desperfectos o cuyos conductores queden incapacitados para continuar conduciendo, fuera de la trayectoria de los demás vehículos. Por eso, tiene influencia en la capacidad y la seguridad de los caminos.
- ✓ Dan confianza al conductor de utilizar el ancho total del carril de la calzada al proporcionar un ancho adicional a la zona de rodamiento.
- ✓ Sirven de soporte lateral a la zona de circulación y protegen contra la humedad y posible erosión de la calzada.
- ✓ Mejoran la visibilidad en los tramos en curva.

El ancho de berma adoptado según la Tabla 19: Ancho de Berma según Categoría y Velocidad de Proyecto (Vp), para el diseño geométrico del camino Cruce Lagunitas – Presa San Antonio - Caraparí, es igual a:

$$\text{Ancho de Berma} = 0,5 \text{ m.}$$

3.4.9. Pendiente Transversal de Berma

La pendiente transversal de berma debe asegurar un rápido escurrimiento superficial de las aguas que caen sobre la calzada y sobre ella misma con la finalidad de minimizar su infiltración que puede afectar su valor soporte y perjudicar la estructura de la calzada. La pendiente transversal de la berma debe ser mayor o igual que la del pavimento.

Su valor dependerá del tipo de superficie de la berma resultando mayor en la medida que la superficie favorezca la infiltración y ofrezca mayor resistencia al escurrimiento.

La pendiente transversal de la berma adoptada según el punto 2.7.4.2 Pendiente Transversal de Bermas donde dice: en caminos y carreteras con calzada pavimentada, ya sea con hormigón, asfalto o tratamiento superficial, las bermas tendrán la misma pendiente transversal que la calzada, ya sea que ésta se desarrolle en recta o en curva. Entonces, se adopta para el camino Cruce Lagunitas – Presa San Antonio – Caraparí es igual a:

$$\textit{Pendiente Transversal de Berma} = 3,5 \%$$

3.4.10. Taludes

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

$$\textit{Taludes de corte en Roca} = 1 : 8 (H : V)$$

$$\textit{Taludes de Corte en Suelo} = 1 : 2 (H : V)$$

$$\textit{Taludes de Terraplén} = 1 : 1.5 (H : V)$$

3.4.11. Levantamiento Topográfico

3.4.11.1 BMs del Proyecto

La nivelación se realizó tomando como cota origen el primer BM -1.

Se realizó la nivelación Geométrica de primer Orden extractando las alturas al milímetro con un cierre de acuerdo a la tolerancia exigida en las normas.

En el trabajo de campo se realizó IDA Y REGRESO para el respectivo cierre entre BM y BM.

Para los BMs se colocaron mojoneros prefabricados de hormigón, colocados al costado del levantamiento.

El cuadro donde se detallan las coordenadas de los BMs es el siguiente:

Cuadro 3.4.11. 1: BMs del Proyecto

N°	ESTE	Norte	Cota	Descripción
1	424860.47	7596097.80	860.00	BM1
2	425107.70	7596371.84	871.27	BM2
3	425239.29	7596696.64	879.00	BM3
4	425181.90	7596805.68	880.64	BM4
5	425993.70	7597204.88	890.00	BM5
6	426067.61	7597276.22	883.72	BM6
7	427023.45	7597618.24	903.93	BM7
8	427088.25	7597624.58	905.12	BM8
9	427557.81	7598339.36	920.00	BM9
10	427565.17	7598367.83	918.27	BM10
11	427936.97	7598805.80	917.42	BM11
12	427995.16	7598804.33	921.19	BM12
13	428792.73	7598663.77	942.33	BM13
14	428822.65	7598662.17	944.18	BM14
15	429564.89	7598572.23	958.37	BM15
16	429594.81	7598570.63	952.66	BM16
17	430596.37	7598603.10	1050.00	BM17
18	430626.28	7598601.50	1050.32	BM18

Fuente: Elaboración Propia

3.4.11.2 Eje Preliminar

El eje preliminar es el armazón de todos los trabajos de topografía ejecutados y fue implantado siguiendo los criterios que se detallan a continuación:

Se siguen los alineamientos de la carretera existente, con excepción de aquellos sectores donde se determinó que es indispensable realizar variaciones de alineamientos respecto del camino actual.

En lo posible, se han determinado todos los vértices y elementos geométricos del alineamiento horizontal de la carretera existente, de tal forma que se puedan obtener rápidamente todos los datos planimétricos y altimétricos.

En cuanto a la precisión de la nivelación geométrica se trabajó con el método de ida y vuelta, tomando en cuenta la tolerancia establecida en principio.

A partir de la progresiva 0+000 se realizó el estacado del eje del camino cada 20 m colocando referencias del mismo en cada vértice.

El estacado del eje ha sido nivelado geoméricamente, cerrando las nivelaciones entre bancos de nivel.

A partir del primer BM colocado en la progresiva 0+000, se trasladaron las cotas a lo largo del camino colocando BM cada 500 m. al mismo tiempo se nivelaron las estacas del eje, con su respectivo control de retorno.

A partir de las estacas del eje central del camino, se realizó el levantamiento de secciones transversales en un ancho de hasta 40 m (20 a cada lado del eje de la poligonal), utilizando nivel geométrico y cinta métrica en zonas planas y onduladas, y complementando con eclímetro y cinta métrica las partes escabrosas en zonas montañosas.

En los ríos y quebradas se tomaron secciones transversales tanto aguas arriba como aguas abajo, a partir del eje del camino.

Las coordenadas de los puntos del eje preliminar son las detalladas en la sección de anexos.

3.5 INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.5.1 Estudio Hidrológico

3.5.1.1 Análisis Estadístico de las Precipitaciones

La zona en estudio no cuenta con una estación meteorológica, por lo que los siguientes datos se adoptaron de las estaciones meteorológicas de Caraparí, Sachapera y Yacuiba (Información del SENAMHI) debido a que presenta similares características ecológicas, edafológicas y ambientales.

Cuadro 3.5.1. 1: Precipitaciones Máximas

Precipitación Máxima Diaria (mm)

Año	Yacuiba (mm/h)	Sachapera (mm/h)	Caraparí (mm/h)
66-67	64		234.5
67-68	71		105.5
68-69	65		140.2
69-70	79.5		160
70-71	66.00		89
71-72	61.00		90
72-73	73.00		71
73-74	72.00		55.5

74-75	75.00		69.5
75-76	64.00		156
76-77	54.00		116
77-78	85.00	130.00	80
78-79	230.00	160.50	78
79-80	92.00	186.00	87.5
80-81	144.00	108.40	80.7
81-82	108.00	60.00	118
82-83	110.00	84.20	10
83-84	212.50	120.00	43
84-85	178.00	156.00	73.3
85-86	154.00	130.00	
86-87	87.00	105.00	
87-88	130.00	43.00	
88-89	96.00	105.00	
89-90	99.00	81.40	
90-91	106.00	175.00	
91-92	67.00	130.50	
92-93	104.00	60.50	
93-94	98.50	90.70	
94-95	140.00	145.60	
95-96	119.30	126.20	
96-97	77.00	158.80	
97-98	58.20	80.30	

98-99	50.20	69.00	
99-00	115.30	92.60	
00-01	43.30	60.00	
2001-2002	82.40	58.30	
2002-2003	99.30	140.00	
2003-2004	102.80	118.00	
2004-2005	137.30	115.50	
2005-2006	134.70	113.50	
2006-2007	136.70	83.00	
2007-2008	67.50	71.50	
2008-2009	102.80	180.00	
2009-2010	142.00	75.60	
2010-2011	93.20	72.00	
2011-2012	55.80	73.50	
2012-2013	133.20	62.50	
2013-2014	235.10	207.50	
2014-2015	87.30	105.00	
2015-2016	80.30		

N° de Datos	50	38	19
Media (M)	102.78	108.81	97.77
Desviación (S)	43.79	41.30	49.67
Varianza (S²)	1917.67	1705.30	2466.97
Moda (E)	83.08	90.22	75.42
Característica (k)	0.946	0.822	1.182

Fuente: Elaboración Propia

→ Ahora el cálculo de las ponderadas de la moda y la característica

$$\begin{array}{ll} \mathbf{E_{dp} =} & \mathbf{84.26} \\ & \\ \mathbf{K_{dp} =} & \mathbf{0.94} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} E_{dp} \\ K_{dp} \end{array}} \right\} \textit{Valores Ponderados}$$

3.5.1.2 Lluvias Máximas Diarias

Para el ajuste de las lluvias máximas diarias se adoptó la ley de Gumbell Modificada. La expresión para calcular la precipitación máxima diaria para un determinado periodo de retorno T es la siguiente:

$$h_{dT} = E_d * (1 + K_d * \log T)$$

Dónde:

h_{Dt} = Precipitación máxima diaria para un determinado periodo de retorno (mm).

T = Periodo de retorno (años).

Cuadro 3.5.1. 2: Altura de Lluvia Máxima Diaria**Altura de Lluvia Máxima Diaria**

<i>Periodo de Retorno (años) (T)</i>	<i>h_{dT} (mm)</i>
10	163.79
20	187.73
50	219.39
100	243.33
200	267.27

Fuente: Elaboración Propia

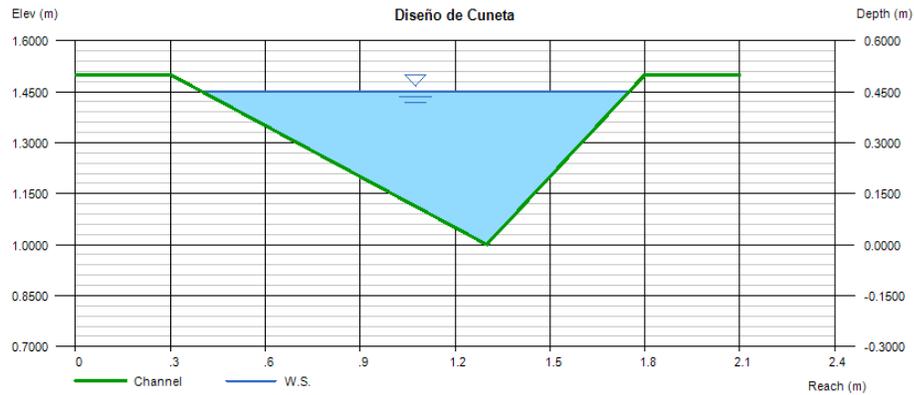
3.5.2 Diseño Hidráulico**3.5.2.1 Diseño de Cunetas**

Para el dimensionamiento de las cunetas y el espaciamiento de las alcantarillas de alivio se debe determinar una función para determinar los caudales de diseño, para ello se utiliza el método racional modificado, el cual como dato de ingreso requiere la intensidad de la precipitación para un tiempo igual al tiempo de concentración, ya que típicamente el tiempo de concentración de las cunetas es reducido, se define un tiempo igual a 10 minutos. La obtención de este valor se realiza mediante la fórmula de Grunsky.

$$i_t = i_{24} \sqrt{\frac{24}{t}} \qquad i_{24} = \frac{P_d}{24}$$

El detalle del cálculo de cunetas se encuentra detallado en la sección de anexos.

Figura 14: Diseño de Cuneta



Fuente: Elaboración Propia

Dimensiones:

T: Espejo de Agua = 1.50 m.

y: Tirante Normal = 0.50 m.

A: Área Mojada = 0.375 m².

P: Perímetro Mojado = 1.825 m.

R: Radio Hidráulico = 0.205 m.

m₁: Talud 1 Sección Triangular = 1 : 2 (V:H)

m₂: Talud 2 Sección Triangular = 1 : 1 (V: H)

3.5.2.2 Diseño de Alcantarillas de Alivio

Para el diseño de alcantarillas de alivio se tomó en cuenta su ubicación debido a que ello nos permitirá conocer el caudal proveniente de las cunetas que evacuará.

Como las alcantarillas reciben caudal de un solo lado de la cuneta el caudal que evacuarán es igual a $1.037 \text{ m}^3/\text{s}$, se determinó también los siguientes aspectos: material de las alcantarillas de alivio de metal corrugado ($n = 0.022$), pendiente longitudinal de la alcantarilla de alivio del 2% ($S = 0.02$) y tirante igual al 60% del diámetro.

Utilizando el programa Hydraflow Express Extension For Autodesk Autocad Civil 3D se determinó el diámetro de las alcantarillas de alivio el cual es de:

$$D = 1.00 \text{ m}$$

Cuadro 3.5.2. 1: Diámetro de Alcantarillas de Alivio

N°	Progresiva	Tipo de Obra	Longitud (m)	Diámetro (m)
1	0+920.00	Alc. Alivio	10.50	1.00
2	1+180.00	Alc. Alivio	9.85	1.00
3	1+380.00	Alc. Alivio	10.50	1.00
4	1+620.00	Alc. Alivio	10.50	1.00
5	1+845.00	Alc. Alivio	10.00	1.00
6	2+400.00	Alc. Alivio	10.60	1.00
7	2+700.00	Alc. Alivio	10.00	1.00
8	3+780.00	Alc. Alivio	13.25	1.00
9	4+660.00	Alc. Alivio	11.75	1.00
10	5+950.00	Alc. Alivio	10.40	1.00
11	6+160.00	Alc. Alivio	10.40	1.00
12	7+300.00	Alc. Alivio	9.90	1.00

13	8+140.00	Alc. Alivio	13.00	1.00
14	8+260.00	Alc. Alivio	20.60	1.00
15	8+560.00	Alc. Alivio	17.25	1.00
16	8+840.00	Alc. Alivio	14.75	1.00

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.3 Diseño de Alcantarillas de Cruce

Las alcantarillas de cruce fueron diseñadas al igual que las alcantarillas de alivio, por su ubicación pero tomando en cuenta la afluencia de riachuelos, quebradas y pequeños ríos.

Para el cálculo de las alcantarillas de paso se utilizó el programa Hydraflow Express Extension For Autodesk Autocad Civil 3D.

A continuación, se presenta la siguiente tabla donde se detalla la ubicación, el tipo de obra y su longitud.

Cuadro 3.5.2. 2: Diseño de Alcantarillas de Cruce

Nº	Progresiva	Tipo de Obra	Longitud (m)	Diámetro (m)
1	3+240.00	Metal Corrugado Simple	10.00	1.20
2	3+403.34	Metal Corrugado Doble	21.50	1.50
3	4+393.57	Metal Corrugado Simple	19.00	1.50
4	5+134.56	Metal Corrugado	18.00	1.20

		Simple		
5	5+552.00	Metal Corrugado Doble	15.00	1.80
6	6+535.36	Metal Corrugado Doble	20.00	2.10
7	6+744.26	Metal Corrugado Doble	30.00	1.00
8	7+682.06	Metal Corrugado Simple	18.50	1.20
9	7+951.80	Cajón 2.50*2.50	25.50	-
10	9+401.07	Metal Corrugado Doble	15.00	1.50

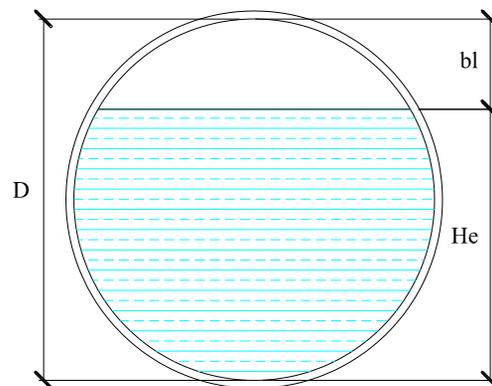
Fuente: Elaboración Propia

ALCANTARILLA DE CHAPA METÁLICA SECCIÓN CIRCULAR

ALCANTARILLA DE TUBO
CHAPA CORRUGADA

Datos :

Q m ³ /s =	2.490
n =	0.022
S =	2.00%
R =	Radio Hidráulico
A =	Área Hidráulica
bl =	0.4 D



Fórmula Manning

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

$$Q = \frac{\left[\left(\frac{\pi * D^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi * D^2}{4 * 180} \cos^{-1}(1 - 2bl) \right) + \left(\frac{D}{2} - bl * D \right)^2 * \tan(\cos^{-1}(1 - 2bl)) \right]^{\frac{5}{3}} * \frac{1}{n} S^{\frac{1}{2}}}{\left[\left(\pi - \frac{\pi}{180} \cos^{-1}(1 - 2bl) \right) * D \right]^{\frac{2}{3}}}$$

$$Q = \frac{\left[\left(\frac{\pi * D^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi * D^2}{4 * 180} \cos^{-1}(1 - 0.8D) \right) + (0.5D - 0.4D^2)^2 * \tan(\cos^{-1}(1 - 0.8D)) \right]^{\frac{5}{3}} * \frac{0.02^{\frac{1}{2}}}{0.022}}{\left[\left(\pi - \frac{\pi}{180} \cos^{-1}(1 - 0.8D) \right) * D \right]^{\frac{2}{3}}}$$

Iterando :

$$D = 1.185 \text{ m.}$$

$$D \text{ (adop.)} = 1.20 \text{ m.}$$

Los planos de detalles de alcantarillas se encuentran en la sección de anexos al igual que su cálculo y dimensionamiento.

3.5.3 Diseño Geométrico**3.5.3.1 Alineamiento Horizontal**

El diseño geométrico de carreteras es el proceso de correlación entre sus elementos físicos, mediante el uso de las matemáticas, física y la geometría. En este sentido, la

carretera queda geométricamente definida por el trazado de su eje en planta, en perfil y por el trazo de su sección transversal.

El alineamiento horizontal está dado por su trazado en planta, la cual está compuesta por el trazado de su eje y las curvas horizontales.

Los reportes de coordenadas del alineamiento horizontal están detallados en la sección de anexos.

3.5.3.2 Alineamiento Vertical

El diseño geométrico vertical de una carretera o alineamiento en perfil, es la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo. Debido a este paralelismo, dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este también se lo denomina rasante o subrasante.

El alineamiento vertical está compuesto por las tangentes verticales y curvas verticales las cuales se detallan en la sección de anexos.

3.5.3.3 Curva Masa

No es posible realizar el diseño de una carretera simplemente tomando en cuenta especificaciones de una pendiente, velocidad, grado de curvatura, drenaje, etc. sino que se consigue un excelente diseño cuando el movimiento de tierra es económico.

Se considera un diseño económico cuando el corte como el relleno es solo lo indispensable, necesario y cuando las distancias de materiales son mínimas.

El diagrama de masa o curva masa es una gráfica donde están relacionadas las diferentes estaciones y los volúmenes ya calculados por efecto de expansión o esponjamiento, el que nosotros aplicamos es el de asignar un 10% al relleno y posteriormente sumados al corte para así obtener el volumen final corregido.

El plano correspondiente al diagrama de masas y su planilla está en detalle en la sección de anexos.

3.5.4 Diseño del Paquete Estructural

La finalidad de cualquier vía de transporte es servir al tráfico. Ha de lograrse que la circulación sea segura, económica y cómoda. Para ello, es necesario tener en cuenta, en primer lugar, las características de los vehículos.

Los vehículos pesados constituyen el grupo de mayor importancia en el proyecto de caminos, puesto que sus cargas son las mayores a las que va estar sometida la vía, ya que muchos camiones circulan con cargas superiores a las legales siendo estos excesos de carga las que deterioran las vías. Por otro lado, el resto de los vehículos tiene una incidencia prácticamente nula sobre el comportamiento estructural de la misma.

Para poder determinar la calidad del suelo basta con evaluar algunas de sus características. Se trata de aquellas que más influyen en su comportamiento como cimiento de un camino y son las que se emplean en las clasificaciones habituales de suelos.

Las características fundamentales a considerar son la granulometría, plasticidad (Límites de Atterberg), compactación y capacidad portante del suelo (CBR). Todas las demás que pudieran interesar pueden deducirse con mayor o menor aproximación a partir de las mencionadas.

Determinadas de un suelo todas las características a las que se ha hecho referencia, se podrá tener una idea precisa del comportamiento que cabe esperar de él en el camino.

Los dos sistemas de clasificación más difundidos son de la AASHTO y el de la SUCS.

Los estudios de suelos se encuentran detallados en la sección de anexos.

3.5.5 Estabilidad de Taludes

La estabilidad de taludes se la determinó utilizando el programa GEO SLOPE STABILITY tomando los datos de tablas de cohesión, ángulo de fricción interna y peso específico de los suelos que se encuentran a lo largo de todo el tramo donde se construirá la carretera.

Los resultados obtenidos por el programa se muestran a continuación:

Cuadro 3.5.5. 1: Estabilidad de Taludes

Tipo de Suelo	Peso Específico(KN/m³)	Cohesión (KN/m²)	Ángulo de fricción Interna (°)	Factor de Seguridad (F.S.)
Roca Arenizca	24.07	499	52.46	5.357
A-4 (2) Arcilla arenosa	17.5	95	32	2.087
A-2-4 Arena Limosa con Grava	18.4	25	32	1.584
A-6 (8) Arcilla Arenosa	17.2	82.5	28	2.719

Fuente: Elaboración Propia

En la sección de anexos se pueden observar las imágenes del programa realizando la estabilidad de taludes.

3.5.6 Método de Diseño del Paquete Estructural

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

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left\{ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right\}}{\frac{0.40 + 1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

Dónde:

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

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

S_0 = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad.

M_R = Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN = Número Estructural.

Datos:

$W_{18} = 21,886$

$Z_R = -0.524$ para una confiabilidad del 70%

$S_0 = 0.490$ Para pavimentos Flexibles

$\Delta PSI = 2.20$ $\Delta PSI = P_o - P_t$

$P_o = 4.20$ Para pavimentos Flexibles

$P_t = 2.00$ Para vías Rurales

$M_R = 5,850$ $M_R = 1,500 * CBR_{Diseño}$

$CBR_{Diseño} = 3.90 \%$

$$SN_{\text{Calculado}} = 1.75$$

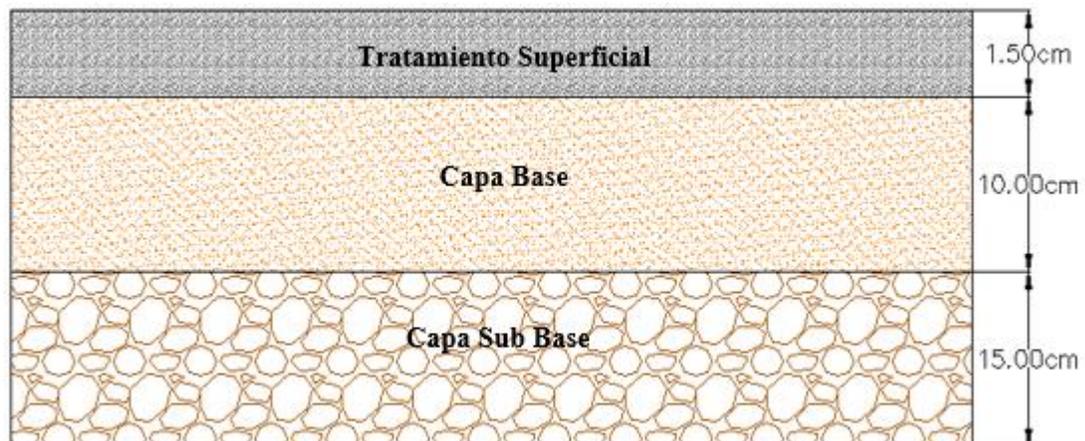
Tabla 28: Valores de Número ESALs

Número ESALs	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	2.50 o TS	10.00
50,000 - 150,000	5.00	10.00
150,000 - 500,000	6.50	10.00
500,000 - 2,000,000	7.50	15.00
2,000,000 - 7,000,000	9.00	15.00
Más de 7,000,000	10.00	15.00

Fuente: Diseño de Pavimento Método AASHTO 93 ICBH 2006

Como el número ESALS es menor a 50,000 entonces se asume los valores mínimos es decir:

Figura 15: Paquete Estructural



Fuente: Elaboración Propia

3.5.7 Señalización

La circulación vehicular y peatonal debe ser guiada y regulada a fin de que ésta pueda llevarse a cabo de forma segura, fluida, ordenada y cómoda, siendo la señalización de tránsito un elemento fundamental para alcanzar tales objetivos.

3.5.7.1 Señalización Horizontal

3.5.7.1.1 Demarcación Horizontal

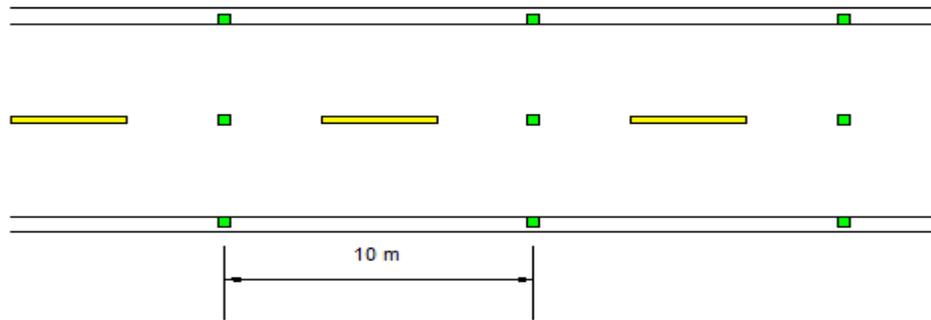
La demarcación está constituida por las líneas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordes y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos.

3.5.7.1.2 Marcas Incrustadas en el Pavimento (Ojos de Gato)

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

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

Figura 16: Marcas Incrustadas en el Pavimento (Ojos de Gato)



Fuente: Elaboración Propia

3.5.7.2 Señalización Vertical

Las señales verticales son dispositivos de control de tránsito instalados a nivel del camino o sobre él, destinados a transmitir un mensaje a los conductores y peatones, mediante palabras o símbolos, sobre la reglamentación de tránsito vigente, o para advertir sobre la existencia de algún peligro en la vía y su entorno o para guiar o informar sobre rutas, nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés y servicios. Las señales verticales deberían usarse solamente donde se justifiquen según un análisis de necesidades y estudios de campo.

Tamaño de las Señales

El tamaño de las señales verticales son las indicadas en el cuadro adjunto: Como se indica en *Dimensiones de las Señales Verticales* en el manual actualizado de la ABC. y también hay que seguir todas las especificaciones de dicho manual en cuanto a color, materiales y todos los detalles componentes de cada señal.

Tabla 29: Dimensiones de las Señales Verticales

TIPO DE SEÑAL	DIMENSIONES (cm)
PREVENTIVAS	Cuadrado de 75 cm X 75 cm
PREVENTIVA SP-40	Rectángulo de 120 cm X 40 cm
REGLAMENTARIAS	Círculo de 75 cm de Diámetro.
REGLAMENTARIA SR-01	Octágono con altura de 75 cm.
REGLAMENTARIA SR-02	Triángulo equilátero 90 cm de lado.
INFORMATIVAS DE SERVICIO	Rectángulo de 60 cm X 75 cm

Fuente: Manual de la ABC “Dispositivos de Control del Tránsito”

Ubicación Lateral

Las señales se colocarán fuera de los carriles por donde circula el tránsito al lado derecho, teniendo en cuenta el sentido de circulación de tránsito en forma tal que el plano frontal de la señal y el eje de la vía formen un ángulo comprendido entre 85 y 90 grados para que su visibilidad sea óptima al usuario

La ubicación lateral de la señales verticales corresponde a distancias de 1.2 m en las bermas y en los cortes a una distancia de 2.5 m. o por detrás de la cuneta revestida.

La altura de la señal desde su extremo inferior hasta la cota del borde del pavimento no será menor a 1.8 m. esta distancia no será mayor a 3.6 m.

Tabla 30: Ubicación Longitudinal de las Señales Verticales

Velocidad de Operación (Km/h)	Distancia (m)
30	30
40	40
50	50
60	60
≥80	80

Fuente: Manual de la ABC “Dispositivos de Control del Tránsito”

Una separación menor dificultaría su visibilidad por las noches. Se tendrá en cuenta que es necesaria la repetición de algunas de estas señales, especialmente en zonas donde existan accesos por los que el tránsito se incorpora a la vía principal.

3.5.8 Cómputos Métricos

3.5.8.1 Planilla de Volúmenes de Corte y Relleno

Estas planillas reflejan los volúmenes tanto de corte como de relleno en cada progresiva del trazo del camino, las cuales se detallan en la sección de anexos.

3.5.8.2 Cómputos Métricos de las Actividades

Estas planillas muestran las cantidades de los ítems a realizar, dando un detalle completo de todos ellos. Estos valores se pueden revisar el detalle en la sección de anexos.

3.5.9 Presupuesto

En estas planillas se puede ver en detalle los materiales, mano de obra y equipo necesario para realizar las diferentes actividades que se desarrollarán en la construcción del camino. Estos datos se detallan en la sección de anexos.

3.5.9.1 Presupuesto General de Ejecución

El presupuesto general del proyecto se presenta en anexos, sin embargo, en esta sección se presenta un resumen del presupuesto general, donde se observa que el costo de construcción del camino con sus respectivas obras de arte asciende a 42,044,029.40 Bs, mientras que la supervisión tiene un presupuesto de 2,943,082.06 Bs, resultando un costo total del proyecto de 47,737,332.50 Bs.

3.5.9.2 Especificaciones Técnicas

Las especificaciones técnicas para la construcción del camino Cruce Lagunitas - Presa San Antonio - Caraparí, se las desglosa en los anexos correspondientes.

3.6 PLANOS DEL PROYECTO

3.6.1 Planos Bimodales (Planta y Perfil)

En estos planos podemos ver el trazo del camino por tramos, en el cual se visualiza la planta y el perfil con los detalles de cada uno en particular.

Estos detalles de planos se pueden observar en la sección de anexos.

3.6.2 Planos de Secciones Transversales

Son planos donde se puede apreciar la sección transversal, la ubicación de la misma en el terreno, donde se puede observar si el trazo se encuentra en corte, relleno o es una sección mixta.

Los detalles de estas secciones se pueden apreciar en la sección de anexos.

3.6.3 Planos de Obras de Arte Menor

Estos planos muestran detalladamente el diseño de las obras de arte menor como ser: Alcantarillas de alivio, alcantarillas de paso o de cruce y cunetas.

Se pueden ver en detalle los planos en la sección de anexos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Luego de haber terminado con la realización del “PROYECTO DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA CONSTRUCCIÓN PAVIMENTADO CRUCE LAGUNITAS – PRESA SAN ANTONIO (CARAPARÍ)”, se puede llegar a una serie de conclusiones y recomendaciones.

Para una mejor explicación se indican las conclusiones en forma detallada y analizan experiencias vividas en el desarrollo de este Proyecto de Grado.

- ✓ Se realizó la recopilación de la información del tramo en estudio y de la fundamentación bibliográfica.

- ✓ Se efectuó el estudio topográfico del tramo Pavimentado Cruce Lagunitas - Presa San Antonio – Caraparí donde se tomó BMs de la carretera Caraparí – Tarija Tramo Caraparí - Acherál actualmente asfaltada, como par de partida para la poligonal del proyecto, disponiendo BMs a una distancia promedio de 500 m en base a la que se realizó el levantamiento topográfico con un ancho de franja de 30m aproximadamente.

- ✓ En base a datos de estaciones pluviométricas como la de Yacuiba, Sachapera y Caraparí se elaboró el estudio hidrológico correspondiente del tramo en estudio para determinar intensidades máximas y así poder determinar los caudales de diseño de alcantarillas de alivio, de paso y también para las cunetas.

- ✓ En base a la realización de aforos vehiculares correspondientes al tramo en estudio se observó y se determinó que en la zona existe un bajo movimiento vehicular, donde la proporción de vehículos livianos es la más significativa en comparación a buses y camiones.

- ✓ Se realizó todos los estudios de suelos necesarios para conocer las características físico - mecánicas, los mismos evidencian que a lo largo del tramo, el suelo predominante es el A-4 y en algunos sectores se encuentran los A-6 y A-2-4. Con todos estos tipos de suelos se realizaron los ensayos correspondientes para la determinación del CBR de la sub-rasante.

- ✓ El diseño geométrico del tramo Cruce Lagunitas – Presa San Antonio se lo efectuó tomando en cuenta la normativa vigente del Manual de la ABC de donde se obtuvieron todos los parámetros básicos de diseño como ser velocidad de proyecto de 40 Km/h, radio mínimo de 50 m, pendientes máximas de 9-10 %, anchos de calzada de 6 m con dos carriles unidireccionales de 3 m de ancho, una berma de 0.5 m, pendiente transversal (bombeo) de 3.5%.

- ✓ Se elaboró el diseño de obras de arte menor como son las alcantarillas de alivio que fueron diseñadas tomando en cuenta el caudal que recogen las cunetas, con ello se determinó su diámetro (el cual es de un metro). Estas alcantarillas son de chapa metálica corrugada. Las alcantarillas de cruce las cuales fueron diseñadas delimitando áreas de cuenca calculando su intensidad de lluvia y sus respectivos caudales para cada una, estas son de chapa metálica a excepción de una que es alcantarilla tipo cajón la cual se vio por conveniente su proyección en función de su caudal siendo una alcantarilla de 2.50*2.50 m.

- ✓ Se realizó el diseño de las cunetas para todo el tramo en estudio de acuerdo a la normativa, determinando el caudal que transportarán estas estructuras el cual es de $1.037 \text{ m}^3/\text{s}$, se determinó que las cunetas tendrán una forma triangular con un tirante normal de 0.50 m y un espejo de agua de 1.50 m.

- ✓ Para el diseño del paquete estructural se utilizó el método AASHTO – 93, para las dos alternativas: tratamiento superficial simple y pavimento flexible (carpeta). El diseño de las mismas dio espesores mínimos, para tratamiento superficial simple una capa sub base de 15 cm, base de 10 cm y una de rodadura de 1.5 cm. El pavimento Flexible (carpeta) una capa sub base de 15 cm, una base de 10 cm y una carpeta de rodadura de 5 cm. Se optó por la alternativa del tratamiento superficial simple tanto por el costo que es menor al de un pavimento flexible y además por el bajo tráfico que existe en la zona de acuerdo al estudio de tráfico realizado.

- ✓ Se elaboró la señalización horizontal como vertical de todo el tramo, tomando en cuenta la normativa vigente del Manual de Señalización y Seguridad Vial de la ABC señales preventivas, reglamentarias e informativas, marcas incrustadas (ojos de gato), línea continua y discontinua para determinar los sectores donde es permitido el adelantamiento y donde es prohibido.

- ✓ Se determinaron los cómputos métricos de ítems para determinar los volúmenes de obra.

- ✓ Se elaboraron los precios unitarios respectivos cabe resaltar que en este punto se realizó el precio unitario de un puente cuya unidad es global, ya que en este

proyecto no se realizó el diseño del mismo. Esto sirvió posteriormente para determinar el presupuesto general y el costo total del proyecto.

- ✓ Se elaboraron las especificaciones técnicas del proyecto donde se detalla la forma de ejecución, la forma de pago, el equipo necesario y el control técnico correspondiente tomando en cuenta las normas para realizar la construcción de cada ítem al momento de realizar la ejecución del proyecto.

- ✓ Se realizó el llenado correspondiente de la ficha ambiental, matriz de evaluación de impactos ambientales para la determinación de la categorización del proyecto.

4.2 RECOMENDACIONES

A continuación, se detallan las siguientes recomendaciones:

- ✓ Se recomienda buscar la información bibliográfica necesaria antes de efectuar el diseño de cualquier proyecto para así evitar inconvenientes al momento de la realización del mismo.

- ✓ Antes de realizar un levantamiento topográfico se debe ajustar la poligonal, efectuar el levantamiento de BMs y puntos auxiliares.

- ✓ Al momento de efectuar un estudio de tráfico, se deben ubicar en puntos estratégicos para realizar el aforo de vehículos que representen el tráfico actual para no cometer errores ni calcular una proyección de vehículos incorrecta.

- ✓ Al instante de realizar el estudio de suelos se deben tener en cuenta que la muestra tomada debe ser representativa del terreno y llevarla al laboratorio tratando de que esta muestra no pierda su humedad para así al desarrollar los ensayos, no cometer errores y tener datos confiables.

- ✓ En el diseño geométrico se deben tener en cuenta todos los parámetros básicos de acuerdo a la ubicación del camino, realizar un trazo preliminar, línea de pelo, ubicar los puntos obligatorios, evitando trazar curvas muy cerradas de acuerdo a radios mínimos, analizar alternativas del trazo para posteriormente elegir la más adecuada.

- ✓ El mayor problema que experimentan las carreteras son a causa del agua es por eso que al momento de realizar el diseño de obras de arte menor o mayor no se debe escatimar costos en la construcción de estas obras; además el mantenimiento de éstas es fundamental ya que si no se lo efectúa su funcionamiento no será el adecuado, ocasionando problemas en el paquete estructural.

- ✓ Debido al bajo tráfico que hace uso de la vía y que el diseño arroja resultados de espesores mínimos en ambas alternativas, se recomienda la construcción con tratamiento superficial simple al ser éste de un costo inferior con la posibilidad de que en un futuro al aumentar el tráfico disponer una carpeta de rodadura de concreto asfáltico.

- ✓ La circulación vehicular y peatonal en una carretera o camino debe ser guiada y regulada a fin de que pueda llevarse a cabo en forma segura, fluida, ordenada y cómoda, siendo la señalización de tránsito un elemento fundamental en un diseño de un camino para alcanzar tales objetivos, ya que éstas indican a peatones y conductores la forma correcta y segura de transitar por la vía.

BIBLIOGRAFÍA.

- Arquimes, Georges. (1972). *Compactación en Carreteras y Aeropuertos*. Barcelona.
- Cocuarnd, R. (1974). *Caminos (Tomo II)*. Madrid
- Del Castillo, H. y Rico, A. (1977). *La ingeniería de los suelos en las Vías Terrestres (Tomo II)*. México.
- Fonseca José M.^a.(1973). *Proyecto y Construcción de Carreteras (Tomo II)*. *Materiales, maquinaria, técnica de la ejecución de obras*. Barcelona. Editores Técnicos Asociados S.A.
- Losa Hernández, J.(1978). *Factores a Considerar en la Proyección de Redes Viales Económicas*. Madrid.
- Prudencio, Claros y Asociados Ingenieros Ltda. Y Delcanda Internacional Ltda. (1977). *Manual Técnico Señalización Vial del Servicio Nacional De Caminos*. La Paz.
- Valle Rodas, R. (1976). *Carreteras Calles y Autopistas*. Buenos Aires.
- Villalaz Crespo, Carlos. (1980). *Vías de Comunicación*. México. Editorial Limusa.

WEBGRAFÍA

- Academia (2016) Disponible en:
https://www.academia.edu/15556510/Definici%C3%B3n_de_Camino_y_Carretera
- Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) Disponible en:
<http://www.abc.gob.bo>

- Ingeniería y Construcción (2014) Disponible en:
<http://civilgeeks.com/2014/06/21/manual-de-diseno-construccion-y-supervision-de-pavimentos/>