

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

La construcción de las vías de comunicación son una necesidad básica para proveer a una sociedad de un flujo de mercaderías y servicios a lo largo de un área, permite el desarrollo de una sociedad, el mejoramiento en la calidad de vida ayuda a llenar las necesidades básicas de las comunidades rurales; se necesita para la protección y producción de recursos y proveer el nexo necesario para el desarrollo.

A través de una construcción de camino, una comunidad puede obtener servicios eléctricos, mejorar el sistema de agua potable, atraer profesores para escuelas locales, ganar acceso a mercados para productos agrícolas y otros, además de recibir apoyo técnico de agencias gubernamentales locales.

La realización de este proyecto nos permitirá conocer métodos de diseño geométrico y estructural. En el cual se refiere al trazo y construcción del paquete estructural para un pavimento flexible, así como todas las especificaciones necesarias para poder cumplir con los requisitos de la administradora boliviana de caminos (ABC), también se describirán las consideraciones físicas y geográficas, que intervienen en el diseño y construcción, los cuales varían de acuerdo a las características del lugar, suelo y condiciones climatológicas

Por otra parte, una carretera bien diseñada toma en consideración la movilidad que necesitan los usuarios de la carretera (motoristas, peatones o ciclistas) así como la seguridad y el confort de los mismos, balanceando esto con las restricciones físicas y naturales del entorno en el cuál, el proyecto se realiza; formando así un sistema de transporte seguro y eficiente. La seguridad vial está optimizada al conectar los elementos geométricos con la velocidad de diseño y parámetros normalizados, de modo que la geometría resultante tiene una coherencia que reduce la posibilidad que un conductor se enfrente con una situación inesperada.

En el mundo moderno, no obstante, es posible establecer medios de transporte estándar ya sea de pasajeros o de carga por diferentes medios, para determinar a partir de ello las condiciones particulares de cada diseño geométrico de carreteras. Así

como también factores de tipo económico, social, político y físico de la zona en estudio, determinando así la elección final de las bases prioritarias del diseño y la metodología a utilizar para dicho proyecto. El proyecto de diseño de carreteras es único en cuanto a las características del área, los puntos obligatorios de circulación, valores de la comunidad, las necesidades de los usuarios de la carretera, y los probables usos de la tierra. Estos son factores únicos que en el diseño se consideraran para el proyecto, haciendo uso del conocimiento sobre los principios básicos de la ingeniería, así como la experiencia y el adecuado criterio que se obtuvo hasta la instancia que deberán ser parte integral del arte del diseño de carreteras.

El presente documento pretende sintetizar de manera coherente los criterios modernos y el uso de software para el diseño geométrico de carreteras, estableciendo parámetros para garantizar la consistencia y conjugación armoniosa de todos sus elementos unificando los procedimientos y documentación requeridos para la elaboración y el desarrollo del trabajo de proyecto de grado “DISEÑO DE INGENIERIA DEL TRAMO LAS LOMAS-NARANJOS”, iniciando con los antecedentes del tema en cuestión, continuando con el planteamiento del problema, los objetivos que se pretenden alcanzar al desarrollar la guía, los alcances y limitaciones que se tienen, etc.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El crecimiento de la demografía en la provincia O'Connor da lugar a problemas que requieren una solución vial. Este proyecto que se pretende realizar nos dará una perspectiva de que soluciones se deberá tomar para la ejecución del mismo.

El proyecto DISEÑO FINAL DE INGENIERIA DEL TRAMO LAS LOMAS-NARANJOS de 6.4 km se trata de una apertura al inicio y después se sigue un camino existente de tierra que no cuenta con diseño del drenaje además no tiene una geometría adecuada a las especificaciones técnicas viales, por estos motivos se realiza el proyecto para tener una referencia de que parámetros debe tener el mismo adecuándose a las necesidades de los comunarios.

Cuando se desarrolle el diseño geométrico del tramo, en base al levantamiento topográfico del mismo y el estudio del tráfico para determinar las características geométricas como la categoría, velocidad de diseño entre otros.

Se pretende realizar el diseño del paquete estructural hasta el nivel de pavimento flexible teniendo en consideración que el mismo será un referente para una posible ejecución, esto creara consecuencias directas e indirectas que beneficiaran a los usuarios y conductores que circularan el tramo.

La actividad económica de las comunidades en estudio gira en torno de la producción agrícola – ganadera, por lo tanto el documento que se realiza tendrá una base de diseño final de ingeniería para la construcción de la ruta Las Lomas – Naranjos y posibilitara en un futuro a la construcción del mismo, y además como consecuencias directas habrá un tramo para la circulación de vehículos y ampliara la producción agrícola de los principales cultivos: maíz grano, papa, arveja, nogal, trigo, hortalizas y la crianza del ganado de diferentes especies, también aumentaran sus niveles de producción y comercialización, posibilitando así, la mejora de los ingresos económicos y por consiguiente a elevar las condiciones de vida de los campesinos de las comunidades que integran el presente proyecto.

Un diseño geométrico de calidad está basado en un buen estudio topográfico, geológico, hidrológico e hidráulico, con lo cual se generan obras adecuadas a las

condiciones del terreno mismo, es decir, de ellas depende en buena medida el éxito del proyecto global; de allí la importancia de que siempre se lleve a cabo un estudio exhaustivo para garantizar que las obras construidas sean acordes según los requerimientos establecidos.

Con los conocimientos en el área que trata el estudio o investigación a desarrollar, pues como se mencionó anteriormente constituye una buena parte del éxito de proyectos constructivos y el desarrollo de cualquier tipo de obras civiles. En particular, en la construcción de carreteras, el adecuado diseño geométrico, así como los diferentes estudios que éste implica son de mucha importancia pues intervienen directamente en la seguridad del conductor y aseguran que la conducción sea de forma adecuada y con un mayor confort prolongando además con ello una vida útil más duradera para los automotores que transiten por las mismas. El proyecto del diseño geométrico, así como el estudio hidráulico e hidrológico en la vía del lugar; se justifica en sí por el impacto positivo a nivel local que generará el proyecto carretero y el desarrollo posterior de la población beneficiada por el mismo. Además de la creación de una guía práctica para la elaboración de futuros diseños geométricos utilizando diferentes software especializados de complemento a la hora de realizar un proyecto de tal envergadura.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Situación problemática

El diseño de ingeniería se vuelve en una necesidad dado que la alcaldía de Entre Ríos ha contemplado entre sus planes de mejoramiento de caminos y vías, por ejemplo, el camino del tramo Las Lomas- Naranjos, pero debido a factores económicos muchas veces se dejan por ultimo dando prioridades a otros proyectos. Para poder tener un diseño geométrico definitivo y adecuado que cumpla con las diferentes especificaciones y normativas técnicas de diseño ingenieril, y así cumplir con la necesidad de los pobladores de dicho cantón, de contar en un futuro con una vía adecuada, la cual les garantice a los mismos la intercomunicación en todo momento, sin importar condiciones del tiempo, ni dificultad de cualquier tipo de vehículo para

la circulación, y así poder transportar sus cultivos y frutos, para ser comercializados en el municipio de Entre Ríos.

Con la ejecución de este proyecto, se pretende contribuir al municipio de Entre Ríos de tener un documento que será elaborado de acuerdo a los requerimientos del lugar, el proyecto que beneficiará a la población local, tendrá en los planes estudios de suelos, tráfico e hidrológicos.

En la parte de diseño geométrico proporcionara de acuerdo a la topografía el adecuado diseño del mismo con sus respectivos planos.

Proporcionaremos un cálculo de costos de materiales y mano de obra que permitirá tener un referente del costo total de la obra.

1.3.2 Problema

¿De qué manera se puede solucionar la comunicación terrestre entre las comunidades Las Lomas – Naranjos, ubicado en la provincia O'Connor del departamento de Tarija?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Elaborar el Proyecto con sus componentes de diseño de ingeniería para luego determinar el costo referencial del proyecto, realizar un estudio técnico para el camino Las Lomas –Naranjos para que se encuentre expedito en condiciones óptimas de transitabilidad, se tomara en cuenta normas vigentes en el proyecto.

1.4.2 Objetivo específico

- Recopilar información referida al tramo de estudio Las Lomas-Naranjos.
- Obtener información bibliográfica de diseño.
- Realizar el estudio topográfico del tramo Las Lomas-Naranjos.
- Elaborar el estudio hidrológico correspondiente, para realizar el diseño de obras de arte menor.
- Realizar un estudio de tráfico mediante la metodología origen- destino.

- Efectuar el estudio de suelos y la clasificación de los mismos para determinar el CBR de diseño correspondiente del tramo Las Lomas-Naranjos.
- Efectuar el diseño geométrico para el tramo Las Lomas-Naranjos.
- 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.
- 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 la ficha ambiental y matriz ambiental.

1.5 ALCANCE

El diseño de ingeniería del tramo vial las Lomas- Naranjos estará definido mediante la ubicación geográfica que corresponderá a una descripción en el ámbito departamental y provincial.

El capítulo de aspectos técnicos de ingeniería es la parte fundamental de este proyecto se recopilarán datos de campo como también se generarán parámetros de diseño de acuerdo a las normas y manuales de nuestro país, fundamentado por la teoría.

El reconocimiento se realizará de manera personal en toda la longitud del tramo, observando los detalles característicos de la zona como: suelo, cursos naturales de agua, vegetación.

Una vez realizado el reconocimiento se definirá el eje preliminar que estará definido por el eje actual del camino, se definirá el P.I. de cada curva y los puntos intermedios que estarán ubicados a cierta distancia donde se ubicara el equipo topográfico, a partir de estas se realizara un levantamiento detallado de puntos a ambos lados del eje.

Se efectuará un muestreo de suelos a lo largo del tramo con pequeñas excavaciones tratando que estas reflejen las características del terreno, para posteriormente realizar

ensayos de laboratorio (límites de Atterberg, granulometría, compactación, CBR) para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

El diseño geométrico está referido exclusivamente a una apertura al inicio y un mejoramiento en la parte final del camino, respetando así la propiedad privada.

Se trabaja en la planimetría en perfil longitudinal y luego proseguir con las secciones transversales tomando en cuenta el ancho de calzada, taludes para posteriormente realizar el cómputo volumétrico que corresponde al movimiento de tierras calculando el área y el volumen más su diagrama de masa respectivo.

De acuerdo a los datos hidrológicos se realizará un análisis de los mismos para posteriormente determinar el caudal máximo que transita por los cauces naturales, las cuales servirán para el diseño hidráulico de las obras de arte.

El diseño estructural establecerá las dimensiones de los espesores de las capas que lo conformaran la estructura de soporte para un pavimento flexible y tratamiento superficial, aplicando el método AASTHO.

Se determinará el precio referencial del proyecto en estudio, a través del análisis de precios unitarios con materiales disponibles en el mercado.

1.6 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADOS

1.6.1 Métodos

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

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.

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.

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 realizarán 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 la fórmula racional.

Tráfico. -Realizar un estudio de tráfico para determinar el TPDA, TPH y el TPD los cuales servirán para efectuar el diseño del paquete estructural.

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.

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 subbase, capas base y capa de rodadura.

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, según requiera el diseño. Además, se utiliza el programa H canales para realizar el dimensionamiento de cunetas.

Cómputos métricos. - Se realizará los cómputos métricos para determinar las cantidades de los materiales y los volúmenes de obra.

Precio unitario y presupuesto. - El análisis de precios unitarios se efectúa tomando en cuenta las incidencias correspondientes para luego sacar el presupuesto general de la obra.

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

Estudio de impacto ambiental. - Para el estudio ambiental se realizará 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.

1.6.2 Técnicas

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

El proyecto está rígidamente sometido a las normas técnicas, el diseño y los costos, se debe acomodar según los objetivos y resultados que se pretenden lograr con el proyecto.

Para realizar el diseño, analizar los costos y para lograr el mejor proyecto, se realiza un estudio de campo, en el que se determinara el proceso que debe seguir el mismo.

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

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

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

CAPÍTULO II

DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE CARRETERAS

2.1 ESTUDIOS PREVIOS

2.1.1 Estudio topográfico

La planificación de los trabajos de topografía, tomando como base lo establecido en las normas de la ABC y conocimientos obtenidos dentro de la carrera esto es, la revisión de los trabajos realizados en este contexto, debiendo ejecutar el diseño de la vía.

Es así que, con un trabajo planificado, realizamos el levantamiento topográfico de este tramo, para tener información adecuada del terreno, para proceder con el diseño de la vía.

El levantamiento topográfico se llevó a cabo sin ningún contra tiempo; todos los datos obtenidos del levantamiento fueron realizados con estación total para tener mayor precisión en los datos en los que se están trabajando.

Mediante el levantamiento y el recorrido del tramo se pudieron identificar los puntos donde se ubicarán las diferentes obras de arte.

2.1.1.1 Desarrollo de actividades

El levantamiento topográfico se realizó con una estación total Sokkia set-x siguiendo los siguientes pasos:

- Determinar las coordenadas mediante un navegador móvil (GPS) del lugar donde se inició el trabajo y del lugar donde se concluyó el mismo.
- Luego colocamos la estación total en la estaca inicial donde programamos e introducimos las coordenadas iniciales (Norte, este, altura sobre el nivel del mar)
- Iniciamos el levantamiento topográfico determinado indicando un punto del eje aproximado del camino, con puntos de ambos lados de este hasta 50 metros para obtener detalles topográficos los cuales son importantes a momento de generar las curvas de nivel para después realizar el diseño detallado y lo más exacto posibles de camino.

- Paralelamente el levantamiento topográfico de detalles por donde se determinó hacer el camino, se va trazando la poligonal abierta del proyecto, determinando BM's, puntos de cambio y puntos auxiliares, los cuales están bien identificados en el terreno para cuando se necesite.

2.1.1.2 Curvas de nivel

Las curvas de nivel son las que representan la intersección de una superficie de nivel con el terreno. En un plano las curvas de nivel se dibujan para representar intervalos de altura que son equidistantes sobre un plano de referencia.

2.1.2 Estudio hidrológico

2.1.2.1 Aspectos climatológicos

El estudio hidrológico se enfoca en la determinación de los caudales máximos que se suscitan en la zona.

2.1.2.2 Periodo de retorno para diseño

Los valores recomendados en la tabla de referencia son los que se presentan a continuación:

Tabla N°1: Periodo de diseño

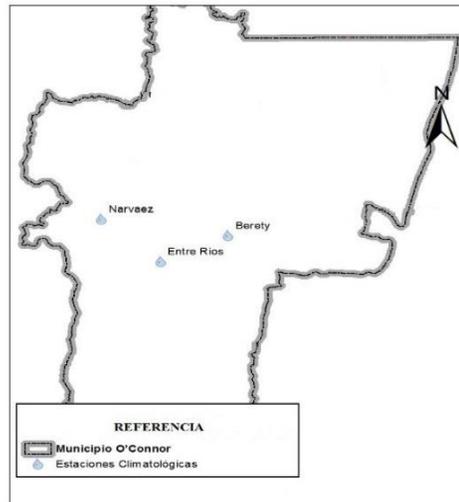
| Tipo de obra | Tipo de ruta | Periodo de retorno | | Vida útil (n en años) | Riesgo de falla (%) | |
|--|--------------|--------------------|--------------|--------------------------|---------------------|--------------|
| | | Diseño | Verificación | | Diseño | Verificación |
| Puentes y viaductos | carretera | 200 | 300 | 50 | 22 | 15 |
| | camino | 100 | 150 | 50 | 40 | 28 |
| Alcantarillas ($S > 1.75 \text{ m}^2$) o $H_{\text{terra}} \geq 10 \text{ m}$ y estructuras enterradas | carretera | 100 | 150 | 50 | 40 | 28 |
| | camino | 50 | 100 | 30 | 45 | 26 |
| Alcantarillas ($s < 1.75 \text{ m}^2$) | carretera | 50 | 100 | 50 | 64 | 40 |
| | camino | 25 | 50 | 30 | 71 | 45 |
| Drenaje de la plataforma | carretera | 10 | 25 | 10 | 65 | 34 |
| | camino | 5 | 10 | 5 | 67 | 41 |
| Defensa de riberas | carretera | 100 | — | 20 | 18 | — |
| | camino | 100 | — | 20 | 18 | — |

Fuente: Manual de la ABC “Manual de hidrología y drenaje”

2.1.2.3 Información climatológica

La información climatológica con la que se ha trabajado corresponde a las estaciones:

Figura N°1 Información climatológica



Fuente: Elaboración propia

2.1.2.4 Estimación de caudales máximos

El cálculo de crecida de diseño es asociar una probabilidad de ocurrencia a las distintas magnitudes de la crecida. Se logra con procedimientos directos, regionales e indirectos. Los primeros requieren valores de caudales máximos observados en el punto de interés; los segundos se utilizan cuando no existen observaciones en el lugar de estudio y se justifican analizando los datos de otros lugares similares; y los últimos estiman las crecidas en base a la relación que existen entre la precipitación u otras variables explicativas y el escurrimiento.

2.1.2.5 Métodos indirectos

Para el estudio de crecidas son procedimientos que permiten transformar la precipitación efectiva en escurrimiento. Esta herramienta permite al ingeniero aprovechar la mayor cantidad de información de precipitación, para extender registros más escasos de caudal y mejorar así los métodos para estimar crecidas en aquellos puntos que no cuenten con información, o bien esta es escasa.

2.1.2.5.1 Método racional

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

La fórmula propuesta por J.R. Temez para el cálculo de caudales máximos para un periodo de retorno dado es la siguiente:

$$Q = \frac{CIA}{3,6}$$

Donde:

Q= Caudal punta correspondiente a un determinado periodo de retorno (m³/s)

I = Máxima intensidad media de precipitación, correspondiente al periodo de retorno

Considerado y aun intervalo igual al tiempo de concentración (mm/hr).

A= Superficie de la cuenca (Km²)

C= Coeficiente de escorrentía

Tiempo de concentración

Se define como el tiempo necesario para que la partícula de agua hidráulicamente más alejada alcance la salida y puede estimarse mediante fórmulas empíricas.

Curvas intensidad - duración - frecuencia de lluvias

Adoptada una frecuencia o periodo de retorno de diseño en la obra y determinado el tiempo de concentración, debe obtenerse la intensidad de la lluvia de diseño, utilizando la familia de curvas intensidad- duración - frecuencia aplicable en la zona de estudio. Estas curvas se deben calcular empleando la información histórica, o bien estimarse en forma aproximada empleando datos de lluvias máximas diarias.

Coeficientes de escurrimiento

Los coeficientes de escurrimiento dependen de las características del terreno, uso y manejo del suelo, condiciones de infiltración, relieve, almacenamiento de agua en el suelo, etc.

Tabla N°2: Coeficiente de escurrimiento para diversas situaciones

| Tipo de terreno | Coeficiente de escurrimiento |
|---|-------------------------------------|
| Pavimentos de adoquin | 0.5-0.7 |
| Pavimentos asfálticos | 0.7-0.95 |
| Pavimentos en concreto | 0.8-0.95 |
| Suelo arenoso con vegetación y pendiente 2%- 7% | 0.15-0.20 |
| Suelo arcilloso con pasto y pendiente 2%- 7% | 0.25-0.65 |
| Zonas de cultivo | 0.20-0.40 |

Fuente: Manual de la ABC “Manual de hidrología y drenaje”

El método racional supone que el coeficiente de escurrimiento se mantiene constante para distintas tormentas, lo cual es estrictamente válido solo para áreas impermeables, de allí la necesidad de amplificar los valores de C para periodos de retorno altos. Si se necesitan coeficientes de escurrimiento de tormentas de periodos de retorno mayor, se recomienda amplificar los resultados por 1,1, 1,2 y 1,25 para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

Tabla N° 3: Coeficientes de escurrimiento (c) para t=10 años

| Factor | Extremo | Alto | Normal | Bajo |
|--------------|---|--|---|--|
| Relieve | 0.28-0.35 Escarpado con pendientes mayores que 30 % | 0.20-0.28 Montañoso con pendientes entre 10 y 30 % | 0.14-0.20 Con cerros y pendientes entre 5 y 10% | 0.08-0.14 Relativamente plano con pendientes menores al 5 % |
| Infiltración | 0.12-0.16. Suelo rocoso, o arcilloso con capacidad de infiltración despreciable | 0.08-0.12 Suelos arcillosos o limosos con baja capacidad de infiltración, mal drenados | 0.06-0.08 Normales, bien drenados, textura mediana, limos arenosos, | 0.04- 0.06 Suelos profundos de arena u otros suelos bien drenados con alta capacidad de infiltración |

| | | | | |
|----------------------------|--|--|--|---|
| Cobertura vegetal | 0.12-0.16 Cobertura escasa, terreno sin vegetación o escasa cobertura | 0.08-0.12 Poca vegetación terrenos cultivados o naturales, menos del 20 % del área vegetal | 0.06-0.08 Regular a buena; 50% del área con praderas o bosques, no más del 50% cultivado | 0.04-0.06 Buena a excelente; 90% del área con praderas, bosques o cobertura equivalente |
| Almacenamiento superficial | 0.10-0.12 Despreciable, pocas depresiones superficiales, sin zonas húmedas | 0.08-0.10 Baja, sistema de cauces superficiales pequeños bien definidos. | 0.06-0.08 Normal zonas húmedas, pantanos, lagunas y lagos | 0.04-0.06 Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido |

Fuente: Manual de la ABC “Manual de hidrología y drenaje”

2.1.3 Drenaje

Las obras de drenaje son los elementos estructurales que eliminan la inaccesibilidad de un camino provocado por el agua o humedad. Los objetivos primordiales de las obras de drenaje son:

- Dar salida al agua que se llegue a acumular en el camino
- Reducir y eliminar la cantidad de agua que se dirige hacia el camino
- Evitar que el agua provoque daños estructurales.

Los puntos importantes que deben considerarse en el diseño y construcción de una obra de drenaje, son los siguientes:

Localización del eje de la obra. - Deberá hacerse de preferencia siguiendo el cauce de los escurrimientos, tomando en cuenta la pendiente, ya que de esta dependerá el tipo de obra.

Área por drenar. - Es la superficie que limita por dos o más líneas del parteaguas y el eje del camino, da el área tributaria del escurrimiento para el cual se pretende proyectar la obra.

Área hidráulica necesaria. - Es aquella capaz de dejar pasar un gasto, igual a una lámina de agua de 10 cm de altura durante una hora, producto de la precipitación del lugar.

Selección del tipo de obra. - El tipo de obra se selecciona una vez calculada el área hidráulica necesaria, de tal manera que la satisfaga adecuadamente y dentro de condiciones de máxima seguridad.

Para una buena selección de tipo de obra de drenaje, deben tomarse en cuenta:

Área hidráulica necesaria.

Pendiente de la obra.

Altura mínima y máxima de terraplenes o rellenos.

Materiales de construcción

Capacidad de carga del terreno

No deben trabajar a presión

2.1.3.1 Clasificación y tipos de drenaje.

Para llevar a cabo lo anteriormente mencionado, se utilizan distintos tipos de obras de drenaje como lo son las obras de drenaje superficial y subterráneo. Se conocen como obras de drenaje y subdrenaje las siguientes:

Cunetas

Contra cunetas

Bombeo

Vado

Tubos y tubos perforados

Puentes y alcantarillas

Bordillos

Vegetación

2.1.4 Estudio geotécnico

Un estudio adecuado de suelo, proporciona la información pertinente para decidir sobre uno o más de los siguientes puntos.

- Localización tanto vertical como horizontal de la obra propuesta
- Necesidad de técnicas especiales para la excavación y drenaje.
- Desarrollo de investigaciones subsuperficiales detalladas para estructuras específicas
- Necesidad de controlar problemas de construcción.

2.1.4.1 Clasificación de los suelos.

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

Para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para subrasante de un camino, se desarrolló también un número denominado índice de grupo. Entre mayor es el valor del índice de grupo para un suelo, será menor el uso del suelo como subrasante.

Un índice de grupo de 20 o más indica un material muy podre para ser usado. La fórmula para índice de grupo (IG) es:

$$IG = (F_{200} - 35)[0,2 + 0,005 * (LL - 40)] + 0,01 * (F_{200} - 15) * (PI - 10)$$

Donde:

F_{200} = Por ciento que pasa la malla no. 200, expresado como un número entero

LL = Límite líquido

PI = Índice de plasticidad

Al calcular el índice de grupo para un suelo de los grupos A-2-6 o A-2-7, use solo la ecuación de índice de grupo parcial relativa al índice de plasticidad:

$$GI = 0,01 * (F_{200} - 15) * (PI - 10)$$

Tabla N° 4: Sistema AASHTO de clasificación de suelos

| Clasificación general | Materiales granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200) | | | | | | Materiales limo-arcillosos(más del 35 % del total pasa el tamiz N° 200) | | | | |
|--|--|-----------|------------------------|-----------|-----------|--------|---|--------|--------|-----------|----------------|
| Clasificación de grupo | A-1 | | A .3 | A-2 | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 | |
| | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | A-7-5 A-7-6 |
| Porcentaje que pasa el tamiz | | | | | | | | | | | |
| N° 10 | 50 máx | | | | | | | | | | |
| N° 40 | 30 máx | 50 máx | 51 min | | | | | | | | |
| N° 200 | 15 máx | 25 máx | 10 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 36 min | 36 min | 36 min | 36 min |
| Características de la fracción, que pasa el tamiz N° 40 límite líquido, wl índice plástico, Ip | 6 máx | NP | 40 Max 10 Max | 41 min | 40 máx | 41 min | 40 máx | 41 min | 40 máx | 41 min | 41 min |
| | | | | 10 máx | 11 min | 11 min | 10 máx | 10 máx | 11 min | 11 min | |
| Indicé de grupo | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 4 máx | 8 máx | 12 máx | 16 máx | 20 máx |

Fuente:Manual de laboratorio de suelos en ingeniería "Joseph E. Bowles"

2.1.4.2 Compactación T-180

La compactación de los suelos consiste en el mejoramiento de las propiedades ingenieriles del suelo por medio de energía mecánica. proctor estableció que la compactación está en función de cuatro variables:

Densidad del material, ρ_d

Contenido de humedad, w

Esfuerzo de compactación.

Tipo de suelo (gradación, presencia de minerales de arcilla, etc.)

El esfuerzo de compactación es una medida de la energía mecánica aplicada a la masa del suelo. Para la compactación en campo el esfuerzo de compactación es el número de pasadas de un rodillo de cierto tipo y peso en un volumen de suelo dado.

2.1.4.2.1 Compactación proctor estándar

En esta prueba el suelo es compactado en un molde que tenga un volumen de 943,3 cm³ (1/30 ft³). El diámetro del molde es de 101,6 mm (4 plg) y 116,43 mm (4,584 plg) de altura, provisto de una extensión desmontable de igual diámetro y 50 mm (2 in) de altura.

Durante la prueba de laboratorio, el molde puede fijarse a una base metálica con tornillos de mariposa. El suelo se mezcla con cantidades de agua que varían y después es compactado en tres capas iguales por un pisón que aplica 25 golpes a cada capa. El pisón pesa 2,5 kg (5,5 lb) y tiene una caída de 304,8 mm (12 plg).

2.1.4.2.2 Prueba proctor modificada

Debido al rápido desarrollo en los equipos de compactación de campo, la energía de compactación en la prueba proctor estándar empezó a no lograr representar en forma adecuada las compactaciones mayores que podían lograrse con dicho nuevo equipo. Esto condujo a una modificación en la prueba, aumentando la energía de compactación, de modo que conservando el número de golpes por capa se elevó el número de capas de 3 a 5, aumentando al mismo tiempo el peso del pisón y la altura de caída del mismo, siendo el molde el mismo que el de la prueba estándar.

La prueba proctor modificado es la más utilizada para la compactación en laboratorio, teniendo tres variantes en el método, que varían en función del porcentaje de tamaño de partículas presentes en la muestra de suelo.

Este ensayo se aplica solamente a suelos con menos del 30 % en peso de partículas retenidas en el tamiz de 19 mm.

Las tres variantes en el método de compactación proctor modificado, varían en algunas especificaciones que se resume en la siguiente tabla:

Tabla N° 5: Especificaciones técnicas para la prueba de compactación proctor según las especificaciones ASTM.

| Características | | | Método | | |
|---|-----------------|-----------------|--------|---------|---------|
| | | | A | B | C |
| Molde | Volumen | cm ³ | 944 | 944 | 2124 |
| | Diámetro | mm | 101.6 | 101.6 | 152.4 |
| Pisón | Masa | kg | 4.54 | 4.54 | 4.54 |
| | Altura de caída | mm | 457 | 457 | 457 |
| Numero de capas de compactación | | | 5 | 5 | 5 |
| Numero de golpes por capa | | | 25 | 25 | 56 |
| Energía de compactación | | | 2700 | 2700 | 2700 |
| Suelo a usarse | Pasa el tamiz | | N°4 | 3/8 plg | 3/4 plg |
| Criterio de selección | | | | | |
| Porcentaje retenido en el tamiz N°4 | | | <20% | >20% | |
| Porcentaje retenido en el tamiz 3/8 plg | | | | <20% | >20% |
| Porcentaje retenido en el tamiz 3/4 plg | | | | | <30% |

Fuente: Manual de laboratorio de suelos en ingeniería "Joseph E. Bowles"

2.1.4.2.3 Factores que afectan la compactación

Los factores más importantes que afectan en la eficacia de la compactación son los siguientes:

Naturaleza del suelo a compactar

Elección adecuada del equipo: tipo, peso, presión de inflado de neumáticos, área de contacto, frecuencia de vibración, etc.

La energía específica de compactación (energía que se le entrega al suelo por unidad de volumen durante el proceso mecánico de que se trate).

Contenido de humedad del suelo.

Cantidad y espesor de las capas de terraplén.

Numero de pasadas del equipo de compactación.

2.1.4.3 Relación de soporte del suelo CBR

Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos conocido como razón de soporte de california (CBR). El ensayo se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variable.

Este método se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de suelos de sub-rasante, como también de materiales empleados en la construcción de terraplenes, subbases, bases y capas de rodadura granulares.

El número CBR (o simplemente, CBR) se obtiene como la relación de la carga unitaria (en libras por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (con un área de 19.4 cm³) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

En forma de ecuación esto es:

$$\text{CBR} = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100(\%)$$

De esta ecuación se puede ver que el número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica, el símbolo de porcentaje se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero, como 3, 45, 98. Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en las ecuaciones son los siguientes:

Tabla N° 6: Valores de carga unitaria patrón

| Penetración | | Carga unitaria patrón | |
|-------------|-----|-----------------------|------|
| mm | plg | Mpa | psi |
| 2.5 | 0.1 | 6.9 | 1000 |
| 5 | 0.2 | 10.3 | 1500 |
| 7.5 | 0.3 | 13 | 1900 |
| 10 | 0.4 | 16 | 2300 |
| 12.7 | 0.5 | 18 | 2600 |

Fuente: Manual de laboratorio de suelos en ingeniería "Joseph E. Bowles"

2.2 DISEÑO DE INGENIERÍA

Los criterios geométricos, así como otros criterios de diseño, dependen mucho del tipo de pronóstico de volumen de tránsito dado.

El diseño geométrico se basa en las recomendaciones de la norma de la administradora boliviana de caminos (ABC). Los parámetros más importantes empleado son:

Tabla N° 7: Resumen de anchos de plataforma en terraplén y de sus elementos a nivel de rasante admite para caminos **desarrollo**:

| Recomendación ABC |
|---|
| Número de carriles: 2 |
| Ancho de carriles entre 2 a 3.0 metros |
| Velocidad de proyecto. 30 a 50 km/h, pudiendo ser de 15 km por hora en curvas de retorno. |
| Ancho de berma interior: 0 metros. |
| Ancho de berma exterior de 0,5 m. |
| Sobreancho interior: 0 metros. |
| Sobreancho exterior: 0.35 a 3.2 metros |
| Ancho de cantero central: 0 metros |
| Ancho total de plataforma: de 6 a 8 metros. |
| Bombeo: 2 – 3,5% |

Fuente: Manual de la ABC “Manual de diseño geométrico”

2.2.1 Diseño geométrico

El diseño geométrico se realiza según los lineamientos de la norma de la administradora boliviana de carreteras (ABC)

2.2.1.1 Controles básicos de diseño

En el diseño de ingeniería del tramo Las Lomas-Naranjos es importante considerar los siguientes aspectos:

Función de la carretera o camino

En el caso de este camino cuya función primordial es dar acceso a la propiedad colindante, posibilitar que los beneficiarios colindantes saquen sus productos a poblados comerciales.

Demanda y características del tránsito

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

Tránsito promedio diario anual (TPDA)

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

Clasificación por tipo de vehículo

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

Vehículos livianos: Automóviles, camionetas hasta 1.500 kg

Locomoción colectiva: Buses rurales e interurbanos

Camiones: Unidad simple para transporte de carga.

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

Velocidad en el diseño vial

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. Esto no sólo por las consideraciones de costo, sino que 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.

Velocidad de proyecto (Vp)

la velocidad de proyecto es la denominada velocidad de diseño, también intervendrán la velocidad específica (Ve) y la velocidad percentil 85 (V85%), se usará para efectos del sistema de clasificación funcional para diseño.

Velocidad específica (Ve)

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.

En el caso particular de los elementos curvos la (Ve) 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.

Velocidad de operación (Vop)

la velocidad de operación es la velocidad media de desplazamiento que pueden lograr los usuarios en un tramo carretera de una velocidad de proyecto dada, 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.

Velocidad percentil 85 (V85%)

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 este con otras vías y con la propiedad adyacente.

2.2.1.2 Sistema de clasificación

2.2.1.2.1 Categoría de las vías

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

Carreteras: Autopistas, autorrutas y primarias.

Caminos: Colectores, locales y de desarrollo.

Cada categoría se subdivide según velocidades de proyecto consideradas al interior de la categoría. Las V_p 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, el barrio industrial, uso del suelo, etc., el que los impone. Situaciones normalmente reguladas por el plan regulador y su seccional correspondiente.

2.2.1.2.2 Clasificación funcional para diseño

El término "Camino" (Colectores, locales y desarrollo) se emplea para designar una vía de características geométricas medias a mínimas, adecuada para dar servicio a volúmenes moderados y bajos de tránsito, cuya función principal consiste en dar acceso a la propiedad adyacente.

Tabla N°8: Clasificación funcional para diseño carreteras y caminos rurales.

| Categoría | | Sección transversal | | Velocidades de proyecto (km/h) | Código tipo |
|------------|-------|---------------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | N° Carriles | N° Calzadas | | |
| Autopista | (O) | 4 ó + UD | 2 | 120-100-80 | A (n) - xx |
| 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.”

2.2.1.2.3 Caminos de desarrollo.

Son caminos que sirven de tránsitos de mediana y corta distancia, a los cuales acceden numerosos caminos de desarrollo. El servicio de tránsito de paso y a la propiedad colindante tiene una importancia similar. Podrán circular por ellos toda clase de vehículos motorizados. En zonas densamente pobladas se deberán habilitar carriles auxiliares destinados a la construcción de ciclo vías.

Su sección transversal normalmente, es de dos carriles bidireccionales, pudiendo llegar a tener calzadas unidireccionales. Las velocidades de proyecto consideradas son:

- Terreno llano a ondulado medio 50 km/h
- Terreno ondulado fuerte 40 km/h
- Terreno montañoso 30 km/h

Normalmente este tipo de caminos poseerá pavimento superior, o dentro del horizonte de proyecto será dotado de él, consecuentemente la selección de la velocidad de proyecto debe ser estudiada detenidamente. Podrán circular por ellos toda clase de vehículos motorizados y vehículos a tracción animal que cuente con los dispositivos reglamentarios señalados en la ordenanza de tránsito.

2.2.1.2.4 Características según categoría.

En la tabla N°9 se presenta una síntesis de las características asociadas a cada categoría, de acuerdo a los criterios expuesto anteriormente.

Tabla N° 9: Características típicas de caminos según la clasificación funcional

| 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”

2.2.1.3 Parámetros de diseño geométrico

2.2.1.3.1 Velocidad 85% considerada para el diseño en planta

2.2.1.3.1.1 Predicción de la V85% en tramos rectos

Para el rango de velocidades de proyecto (V_p) y la longitud del tramo en recta (L_r), que se definen en la tabla 10, la V85% dependerá de:

Tabla N° 10: Criterios de predicción de la v85 en función de v_p y l_r para v_p entre 40 y 120 km/h

| Situaciones posibles | | V85 % Determinada por |
|----------------------|-------------------|--|
| Caso I | $L_r(m) > 400$ | Longitud de la recta |
| Caso II | $L_r(m) \leq 400$ | Las características de la configuración precedente y la relación de los radios de las curvas de entrada y salida |

Fuente: Manual de la ABC “Diseño geométrico”

CASO I Para rectas con $L_r > 400$ m.

Tabla N° 11: V85 al final de la recta según longitud y velocidad de proyecto

| V proyecto K/h | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 120 |
|---|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| $400 \text{ m} \leq L_r \leq 600 \text{ m}$ | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 125 |
| $L_r > 600 \text{ m}$ | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 115 | 130 |

Fuente: Manual de la ABC “Diseño geométrico”

En caminos colectores y locales bidireccionales, con pavimento de 6.0 m de ancho y bermas + SAP (sobre ancho de pavimentación) de menos que 2.0 m, los valores indicados en la tabla 10 y 11; Se podrán reducir en 5 km/h y si el trazado se desarrolla en terreno ondulado fuerte o francamente montañoso (V_p 40 a 60 Km/h) la reducción puede alcanzar a 10 km/h con un límite de $V_{85\%} = V_p$

Caso II: Según lo expuesto en los literales anteriores, una curva de $R_{mín}$ correspondiente a la V_p de la ruta, sólo podrá emplearse si está precedida por una recta con $0 \leq L_r \leq 400$ m y a la curva existente al inicio de dicha recta (Radio de entrada).

La $V_{85\%}$ de una sucesión de curvas, sin recta intermedia o con una cuya longitud L_r sea ≤ 400 m, corresponde a la V_e de cada una de las curvas, siempre dependiendo de la curva precedente y del rango de radios especificados para la situación bajo análisis.

2.2.1.3.2 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

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 $0,20$ m (h_2), estando situados los ojos de conductor a $1,10$ 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:

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

Dónde:

Df= Distancia de frenado (m)

V = Vp 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 12 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 N° 12: 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"

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.¹

¹ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-6, 2-9.

Tabla N° 13: 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 13.

2.2.1.4 Diseño planimétrico

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.

2.2.1.4.1 Longitud máxima en rectas

Se procurará evitar longitudes en rectas superiores a:

$$L_r(m) = 20V_p$$

Dónde:

L_r = Largo de la alineación recta (m)

V_p = 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 $8V_p$ y $10V_p$ enlazadas por curvas cuya V_e cubren adecuadamente esta necesidad.

2.2.1.4.2 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.

2.2.1.4.2.1 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 14, los que responden a una mejor definición óptica del conjunto que ya no opera como una curva en "S" propiamente tal, ya están dados por:

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

Tabla N° 14: 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”

2.2.1.4.3 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 15 entrega los valores deseables y mínimos según tipo de terreno y velocidad de proyecto.

Tabla N° 15: 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 %).²

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

2.2.1.4.4 Curvas circulares

2.2.1.4.4.1 Elementos de la curva circular

En la figura 2, 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).

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

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

ω = Ángulo de deflexión entre ambas alineaciones, que se repite como 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.

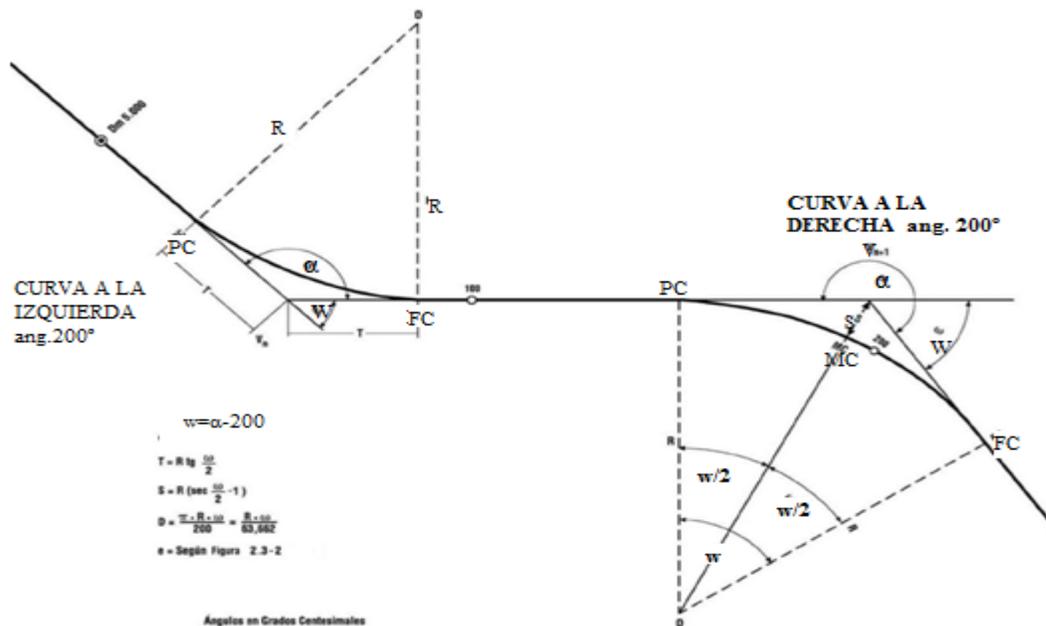
E = Bisectriz; distancia desde el vértice al punto medio, MC, del arco de círculo (m).

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 N° 2: Curva circular



Fuente: Manual de la ABC “Diseño geométrico”

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

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

2.2.1.4.5 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:

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

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 .³

Tabla N° 16: Radios mínimos 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”

2.2.1.4.6 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

³ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-20.

(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:

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

Dónde:

f = Coeficiente de fricción

V_p = Velocidad de proyecto

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

Tabla N° 17: 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"

2.2.1.4.7 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.

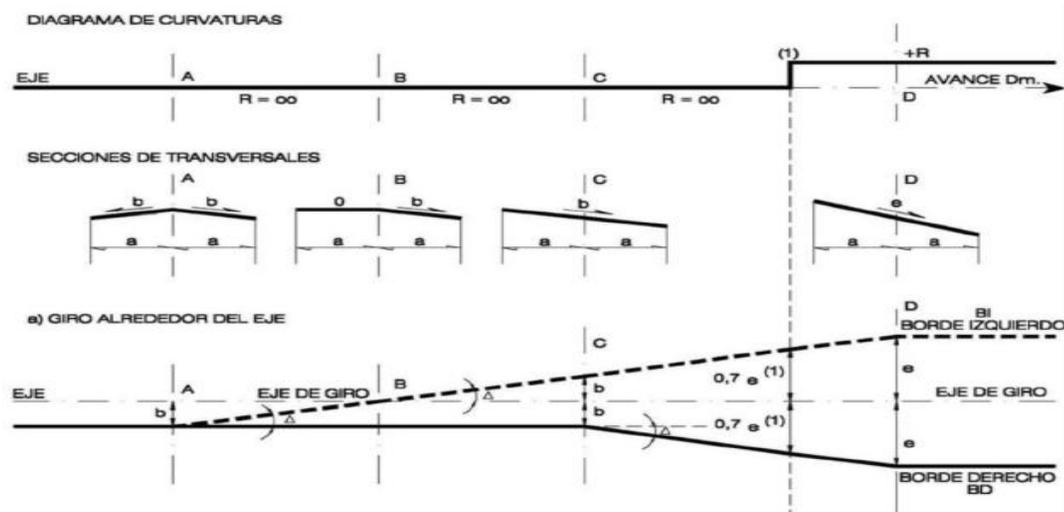
Es preferible utilizar como límites máximos, los indicados como deseables; en situaciones especiales, para lograr viabilidad técnica o cuando las características de la carretera induzcan a reducir los costos especialmente en zonas de topografía accidentada, se podrán utilizar los límites absolutos.

Tabla N° 18: 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 N° 3: Diagrama de peralte



Fuente: Manual de la ABC “Diseño geométrico”

2.2.1.4.8 Condicionantes para el desarrollo del peralte

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. Esto 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 N° 19: 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.

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.⁴

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 norma, existiendo en dicho tramo un punto de inclinación transversal nula, a partir del cual se desarrollan los peraltes en uno y otro sentido.

⁴ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-33.

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 15. 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.

2.2.1.4.9 Sobreancho 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 sobreancho requerido equivale al 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.

Tabla N° 20: Ensanche de calzada S(m) (Permite cruce de 2 veh. del mismo tipo)

| Tipo de vehículo en m) | (Lt | 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} h ₁ = 0,6 m h ₂ = 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 |
| SemitrailerLt = 22,4* | | L1 = 5,6 L2 = 15,5 | | | | 85 ≤ R ≤ 380 |

| | | | | | |
|---|------------------------|--|------|--------|----------------------|
| Si e_{int} calculado $\leq 0,35$ 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 \leq S \leq 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 | $(L_o^2/R) + 0,15$ | 55 S | 0,45 S | $30 \leq R \leq 450$ |
| 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 N° 21: Ensanche de la calzada en caminos con $V_p \leq 60$ Km/h alternativa con calzada en recta 7,0 m (n=2) y H1 = 0,45 m; H2 = 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 | $((L1^2+L2^2)/R) -$ 0,80 | 0,55 S | 0,45 S | $35 \leq R \leq 115$ |
| Semitrailer Lt = 18,6* | L1 = 5,6 L2 = 12,2 | $((L1^2+L2^2)/R) -$ 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.

2.2.1.4.10 Curvas de retorno

En trazados de alta montaña suelen requerirse curvas de retorno (CR), con el fin de obtener desarrollos que permitan alcanzar una cota dada, que no es posible lograr mediante trazados alternativos sin sobrepasar las pendientes máximas admisibles.

Las CR constituyen puntos singulares del trazado, en los que los **radios que deben emplearse son mucho menores que los correspondientes a la Vp del camino**. Los elementos para diseñarlas, clotoides y curvas de tres centros, tampoco cumplen con las condiciones que se exigen en trazados normales, pues ellas están destinadas a generar los ensanches requeridos en la CR y no como elementos de transición para la dinámica del desplazamiento. **Todo ello resulta aceptable porque la velocidad de circulación en este tipo de curvas, fluctúa entre 15 y 20 km/h**. En el entorno en que estas curvas se hacen indispensables, los usuarios están dispuestos a aceptarlas, no obstante, ello deberá señalizarse adecuadamente, mediante una numeración correlativa referida al total de las CR existentes en el tramo, por ejemplo (1/8.... 2/8.... 8/8, donde 1,2...8 es el número de la CR y 8 corresponde al total de CR existentes en el tramo).

En el caso, para caminos locales, de desarrollo y eventualmente caminos mineros, el diseño considera el cruzamiento de 2 vehículos livianos (Camioneta, Van y similares). Operando aisladamente, podrá describir la curva un bus rural con largo total de 12 m o un camión simple, ambos con un máximo Lo de 9,5 m. Si en el flujo de este tipo de caminos existen buses de turismo o semitrailer, 20 m antes y después del PCi' y del FCi'' el ancho de calzada debe transitar 6,0 a 7,0 m (0,5 m linealmente hacia cada lado), para luego emplear alguna de las configuraciones correspondientes a carreteras o colectores.

Actualmente algunos programas computacionales de diseño tienen incorporadas las rutinas necesarias para resolver este tipo de problemas a lo largo del eje del trazado, sin embargo, siempre será necesario tener claro los conceptos que aquí se exponen,

así como los parámetros principales para definir los bordes de la calzada, según sea el valor de radio interior “Ri”.

Con el objeto de limitar el incremento de potencia requerido para describir curvas tan cerradas como las correspondientes a las CR, se procurará emplear pendientes longitudinales y peraltes moderados, siendo los máximos aceptables los que se indican a continuación.

La pendiente longitudinal dentro de la CR deberá limitarse a valores comprendidos entre 5 y 6%, aceptándose como máxima extraordinaria un 7% en caminos Locales y de Desarrollo.

El peralte máximo se reducirá de 8 a 5% en carreteras y colectores para una velocidad de operación máxima en la CR de **20 km/h** y de 7 a 5% en caminos locales y desarrollo para una velocidad de operación de 15 Km/h.

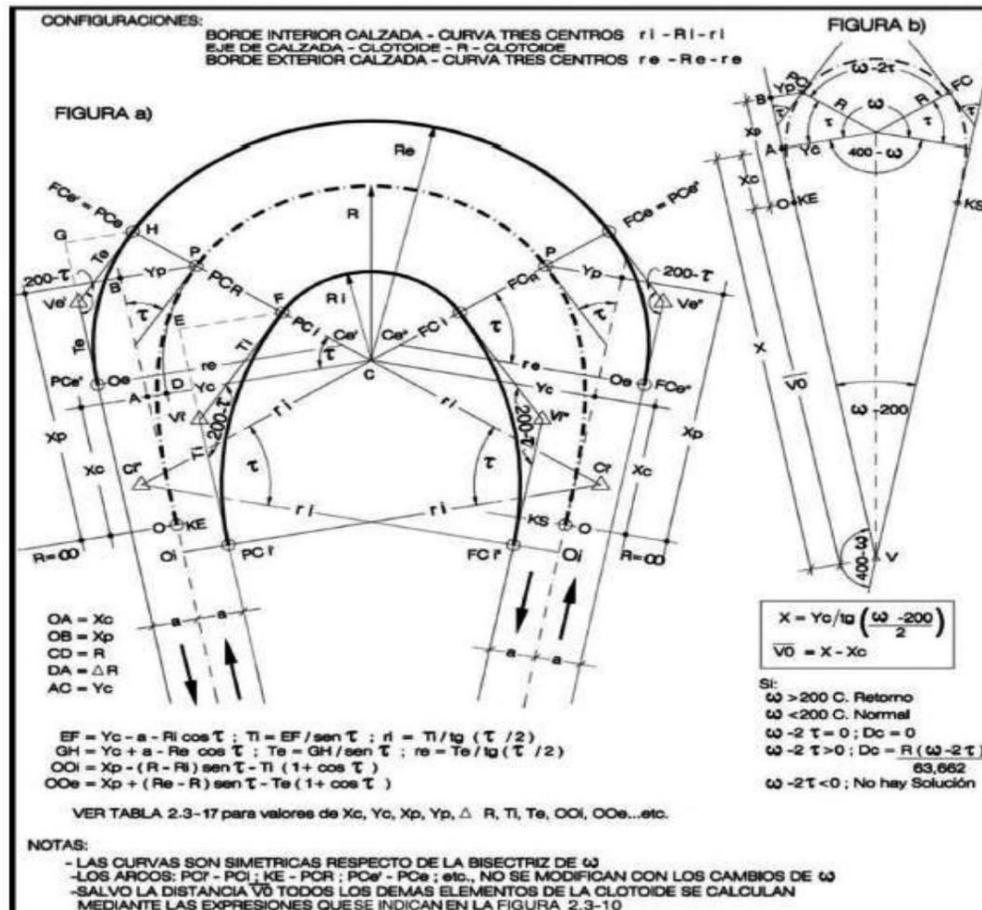
Las limitaciones generales que deben respetarse (según Manual ABC) son:

Ri mínimo carreteras y colectores = 8,0 m

Ri mínimo caminos locales y desarrollo = 6,0 m

(Re' - Re) máximo en todos los casos = 0,60 m

Figura N° 4: Características generales de curva de retorno



Fuente: Manual de la ABC “Diseño geométrico”

Donde:

 $R(m)$ = Radio circular del eje del trazado $R_i(m)$ = Radio interior de la curva circular central (dato inicial de cálculo) $R_e(m)$ = Radio exterior de la curva circular central $R'_e(m)$ = Radio exterior descrito por el extremo derecho del parachoques delantero

2.2.1.5 Diseño alimétrico

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.

2.2.1.5.1 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.⁵

2.2.1.5.2 Pendiente de la rasante

2.2.1.5.2.1 Pendientes máximas

La Tabla 22 establece las pendientes máximas admisibles según la categoría de la carretera o camino.

Tabla N° 22: 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

⁵ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-64.

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.

2.2.1.5.2.2 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 23.⁶

Tabla N° 23: 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”

2.2.1.5.2.3 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.

⁶ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-65.

- 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.

2.2.1.5.3 Curvas verticales

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

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

Es decir, 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% = 0,005m/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 5 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:

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

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:

$$L_v = 2T$$

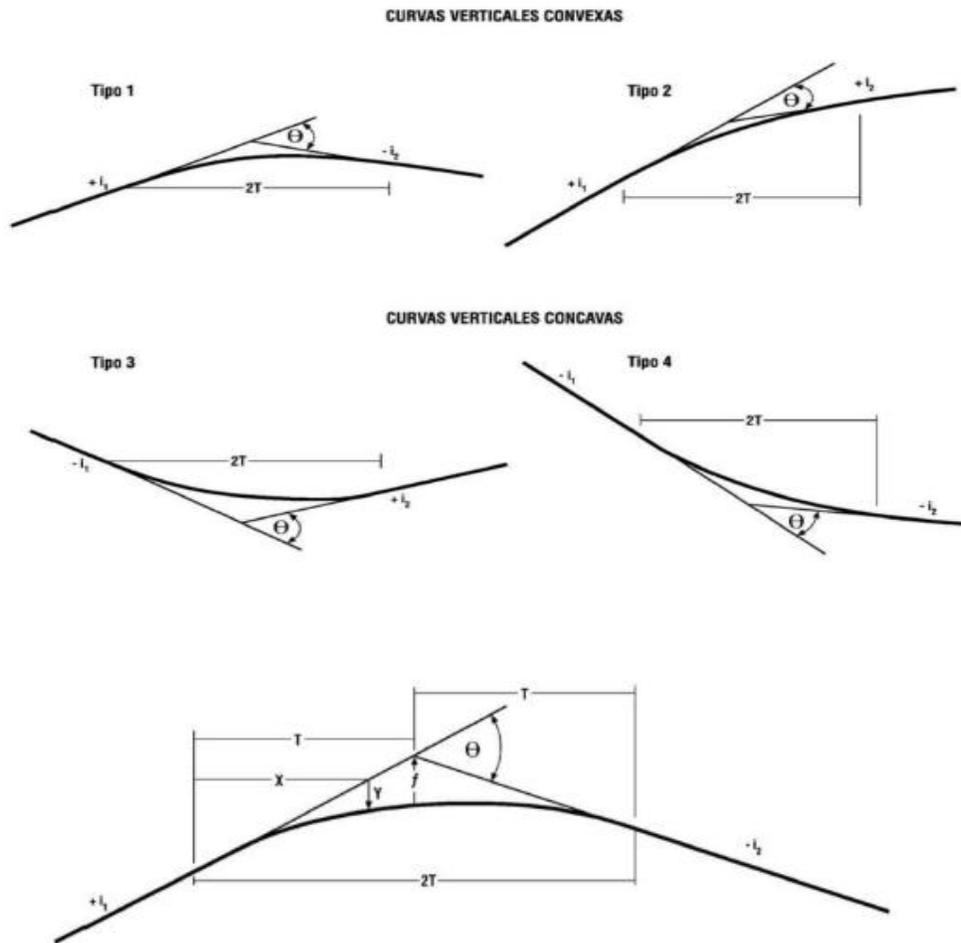
Siendo $2T$ la proyección horizontal de las tangentes a la curva de enlace.

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:⁷

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

⁷ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 2. Pág. 2-68.

Figura N° 5: Tipos de curvas verticales



Fuente: Manual de la ABC “Diseño geométrico”

2.2.1.5.3.1 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:

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

- 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 $D_v > 2T$, normalmente debe ser aumentada por criterio de comodidad y estética.

- En curvas verticales convexas o cóncavas del tipo 1 y 3 (figura 5), 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, o bien eligiendo el parámetro correspondiente a $V^* + 5$ Km/h, que da un margen de seguridad adecuado.

2.2.1.5.4 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.

Tabla N° 24: Parámetros mínimos en curvas verticales por criterio de visibilidad de frenado

| Velocidad de proyecto | Curvas convexas K_v | | | Curvas cóncavas K_c |
|---|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | $V^* = V_p$ Km/h | $V^* = V_p + 5$ Km/h | $V^* = V_p + 10$ Km/h | |
| V_p (Km/h) | | | | $V_p =$ Km/h |
| 30 | 300 | 300 | 300 | 400 |
| 40 | 400 | 500 | 600 | 500 |
| 50 | 700 | 950 | 1100 | 1000 |
| Caminos Colectos | | | | |
| 60 | 1200 | 1450 | 1800 | 1400 |
| 70 | 1800 | 2350 | 2850 | 1900 |
| 80 | 3000 | 3550 | 4400 | 2600 |
| Carreteras Primarias, Autoruta, Autopista | | | | |
| 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”

2.2.1.5.5 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 N° 25: 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 | 14.900 | 21.000 | 27.200 | 33.900 | 39.100 | 45.900 |

Fuente: Manual de la ABC “Diseño geométrico”

Los valores de K_a que figuran en la tabla 25 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 .

2.2.1.6 Mejoramientos indispensables en planta y elevación

Si bien no siempre será posible en razón de los costos involucrados o del espacio disponible, rectificar el trazado para llevarlo en su totalidad a los niveles normativos de un trazado nuevo, se deberán incorporar de todos modos aquellos diseños que no tienen un costo adicional, o este es marginal, tales como:

- Modificar los peraltes de las curvas empleando los valores correspondientes en función del radio de curvatura.
- Incorporar clotoides de enlace en todas las situaciones que especifica la norma.

Señalizar y demarcar los sectores que no cuentan con distancias adecuadas para adelantar, de acuerdo con los valores del presente instructivo. Estas rectificaciones confieren una seguridad adicional pero no incrementan la sensación de amplitud del trazado.

2.2.1.6.1 Mejoramientos deseables en planta y elevación

Aun cuando se podrán considerar las relajaciones, o criterios de diseño mínimos admisibles, se deberá procurar:

- Que el diseño de los elementos de planta y elevación asegure visibilidad de frenado consecuente con la V^* determinada para el tramo bajo análisis, restringida en casos extremos.
- Que mediante rectificaciones razonables las curvas sucesivas separadas menos de 400 m cumplan con la relación de radios de curvatura, aun cuando se superen los límites allí definidos, hasta en un 20%.

2.2.1.6.2 Criterios de diseño mínimos admisibles para rectificación de trazados existentes (mejoramiento de caminos)

Si el mejoramiento se mantiene en el entorno del trazado original, se podrán relajar los criterios de diseño, según se indica a continuación, previa autorización de la administradora boliviana de carreteras, la que se pronunciará teniendo a la vista un informe preparado por el proyectista.

Los criterios cuya relajación podrá ser considerada son:

- La predicción de la $V_{85\%}$, tanto en tramos rectos de más de 400 m, como en una secuencia de curvas horizontales, para diseñar las curvas al término de dichas rectas y para verificar las distancias de visibilidad de frenado, podrán disminuirse, hasta en:

En rectas Si $400 \leq L_r < 600$ m ; V^* de $V_p + 5$ a V_p

Si $L_r \geq 600$ m ; V^* de $V_p + 10$ a $V_p + 5$

En curvas: En la misma proporción que para las rectas.

- En caminos con $V_p \leq 80$ km/h, se podrá aumentar el peralte de las curvas de radio mínimo de 7% a 8%, procediendo a recalcular el radio mínimo admisible sin modificar el coeficiente de roce transversal que le corresponde a la velocidad de proyecto.
- Se aceptará el empleo de configuraciones límite, cuando den solución a situaciones extremas del trazado.
- Se aceptará mantener deflexiones menores de $2g$ en proyectos de repavimentación que consulten el aprovechamiento de la estructura existente.

2.2.1.6.3 Consideraciones complementarias

Finalmente, cabe destacar que, en caminos de tipo local, y eventualmente en algunos colectores, una velocidad de diseño de 60 a 70 Kph, aun cuando se consulte pavimento, es perfectamente aceptable si los volúmenes a servir son bajos y las distancias a recorrer moderadas, máxime si el relieve de la zona presenta dificultades de alguna consideración.

En este tipo de caminos, una capa de rodadura pavimentada pretende asegurar tránsito permanente, menores costos de operación de los vehículos y confort al usuario, pero dado el bajo volumen, las ventajas asociadas a un tránsito rápido (ahorro de tiempo) no tienen relevancia frente a los costos en que se debe incurrir para lograrlas.

Una adecuada y completa señalización tanto vertical como horizontal, explicitando en forma reiterada la velocidad de proyecto del tramo, permitirá controlar en mejor forma los objetivos previstos según la categoría del camino.

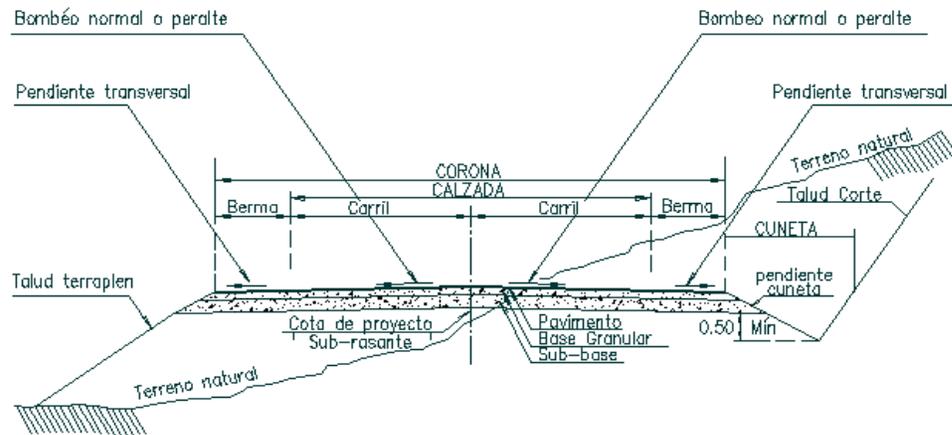
2.2.1.7 Sección transversal

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.⁸

⁸ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 3. Pág. 3-1.

Figura N° 6: Sección transversal y sus partes



Fuente: Ingeniería de caminos rurales Ing. Gordon Keller

2.2.1.7.1 La plataforma

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

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

2.2.1.7.2 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 26 se resumen los anchos de carriles, dados en función de la categoría de la vía y de la velocidad de proyecto que le corresponde.

Las calzadas pueden ser pavimentadas o no. Si son pavimentadas, quedaran comprendidas entre las bermas. La demarcación de ejes y bordes que ayuda a definir los carriles y el ancho total de la calzada, se ejecutara en conformidad con las disposiciones vigentes de la administradora boliviana de carreteras

Tabla N° 26: Anchos de carriles según categorías

| Número de calzadas y categoría | | Velocidad de proyecto (km/h) | Ancho de carril "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 a 3.5 |
| | Local | 50 | 3,0 a 3.5 |
| | | 40 | 3,0 |
| | Desarrollo | 30 | 2,0 a 2.5 |

Fuente: Manual de la ABC "Diseño geométrico"

2.2.1.7.3 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}) mm/h, propia del área en que se emplaza el trazado.

La tabla 27 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.⁹

Tabla N° 27: 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”

2.2.1.7.4 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.

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

2.2.1.7.4.1 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.

Tabla N° 28: 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 | 50 | - | 0,5 - 1,0 ⁽²⁾ | |
| | 40 | - | 0,0 - 0,5 ⁽²⁾ | |
| 30 | - | 0,0 - 0,5 ⁽²⁾ | | |

Fuente: Manual de la ABC "Diseño geométrico"

2.2.1.7.4.2 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 27.

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 27 para tramos en recta.

2.2.1.7.5 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 de 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.

2.2.1.7.5.1 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.

En la tabla 20 y 21 se muestra valores recomendados para el ensanche de caminos bidireccionales.

2.2.1.7.5.2 Pendiente transversal de sobrecanchos

La Tabla 29 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 N° 29: 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”

2.2.1.8 Taludes

2.2.1.8.1 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.

2.2.1.8.2 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.¹⁰

2.2.1.8.3 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.

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.

¹⁰ Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), *Manual de Diseño Geométrico*, Capítulo 3. Pág. 3-26.

2.2.1.9 Movimiento de tierras

Uno de los objetivos del movimiento de tierras es minimizar el volumen de tierra que se requiere para el proyecto. Por lo tanto se estima el movimiento de tierra que interviene en cada lugar en cada lugar alternativo, tanto en la etapa preliminar como en el final.

Para determinar el volumen de movimiento de tierra que interviene para una rasante dada, se toman perfiles transversales a intervalos regulares a lo largo de rasante. En general las secciones transversales están separadas cada 10 m, aunque a veces se aumenta esta distancia para la ingeniería preliminar.

Estas secciones transversales se obtienen al graficar el nivel del terreno y la rasante propuesta para la vía, a lo largo de una línea perpendicular a la rasante para indicar las áreas de excavación y las áreas de terraplén.

El método común para determinar el volumen es el del promedio de las áreas extremas. Este procedimiento se basa en la suposición de que el volumen entre dos secciones transversales consecutivas, es el promedio de sus áreas multiplicado por las distancias entre aquellas su ecuación es la siguiente:

$$V = \frac{L}{2} * (A1 + A2)$$

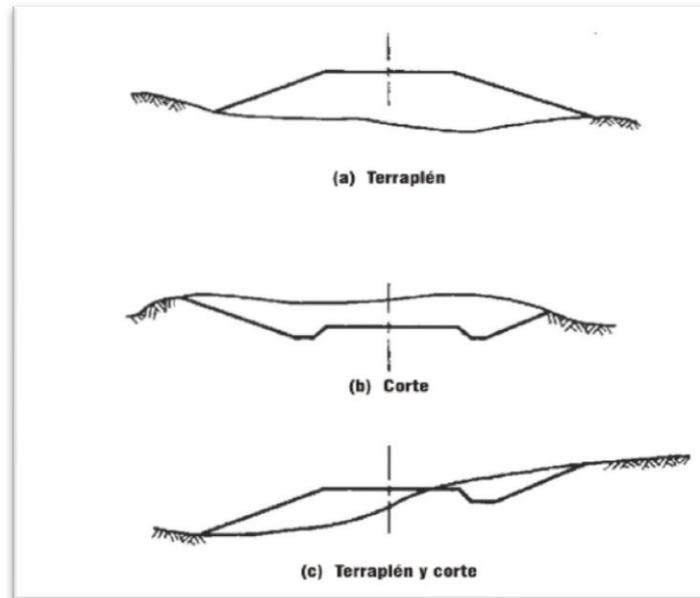
Donde:

V=Volumen (m³)

A1 y A2= Áreas extremas (m²)

L= Distancias entre secciones transversales (m)

Figura N°7: Tipos de sección transversal.



Fuente: Manual de la ABC “Diseño geométrico”

2.2.1.9.1 Diagrama curva masa

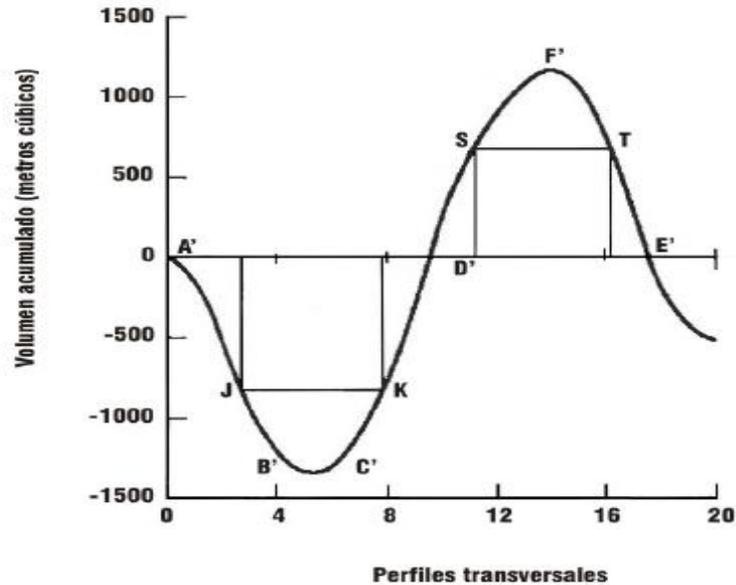
El diagrama de la curva masa es una serie de líneas unidas que describen la acumulación neta de corte o de relleno, entre dos perfiles transversales cualesquiera. La ordenada del diagrama de la curva masa es la acumulación neta en m^3 desde un punto inicial arbitrario. Entonces, la diferencia de ordenadas 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.

2.2.1.9.2 Interpretación del diagrama de la curva masa

A partir de la Figura 8 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 N° 8: Curva masa



Fuente: Manual de la ABC (Diseño geométrico)

- 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.

2.2.2 Diseño estructural

2.2.2.1 Alternativas de rodadura

Se realizara el análisis de diferentes alternativas por el tipo de rodadura, que será:

Alternativa 1: Pavimento flexible

Alternativa 2: Tratamiento superficial doble

Para llegar a determinar la mejor alternativa, se analizan todas las características técnicas necesarias para el tipo de proyecto que se realiza.

2.2.2.2. Parámetros de entrada comunes para el diseño.

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

- Características geotécnicas de los suelos de la subrasante, que se detallan en el estudio de suelos.
- Tráfico vehicular

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

2.2.2.3 Pavimento flexible 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:

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.

2.2.2.3.1 Periodos de diseño

Tabla N° 30: 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

2.2.2.3.2 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.

2.2.2.3.3 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 N° 31: 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 N° 32: 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

2.2.3.3.4 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.

2.2.3.3.5 Subrasantes expansivas

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

2.2.3.3.6 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 esto 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.

$$\Delta\text{PSI} = P_0 - P_t$$

2.2.3.3.7 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 %.

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

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

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

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

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

2.2.3.3.8 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 pulgadas.

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

2.2.3.3.9 Capacidad del drenaje para remover la humedad

Tabla N° 33: 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 N° 34: Valores recomendados para modificar los coeficientes estructurales de capa de bases y sub bases sin tratamiento, en pavimentos flexibles.

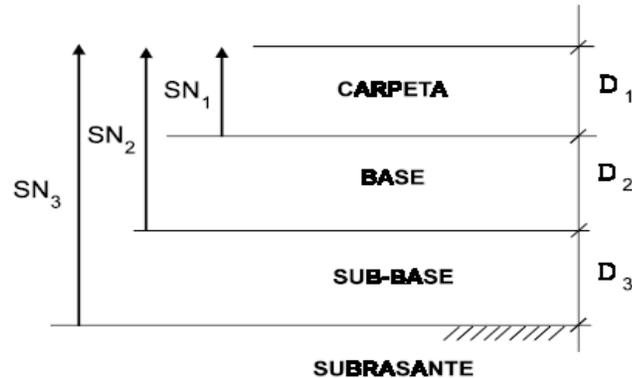
| Calidad del drenaje | Porcentaje de tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento a niveles de humedad próximos a la saturación | | | |
|----------------------------|---|----------------|-----------------|----------------------|
| | menor del 1 % | 1 - 5 % | 5 - 25 % | Mayor del 25% |
| 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 N° 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.

2.2.3 Precios unitarios y presupuesto

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 primeramente necesaria 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

CAPITULO III PROPUESTA DE DISEÑO

3.1. UBICACIÓN

La zona del proyecto se haya ubicado Municipio de Entre Ríos, provincia O'Connor del departamento de Tarija. Más precisamente el en distrito 1, en las comunidades de Las Lomas, Moreta, Entre Ríos, Alambrado, Naranjos.

Gráfico N° 1: Localización del proyecto a nivel departamental



Fuente: Educa Bolivia

Gráfico N° 2: Localización del proyecto a nivel provincial



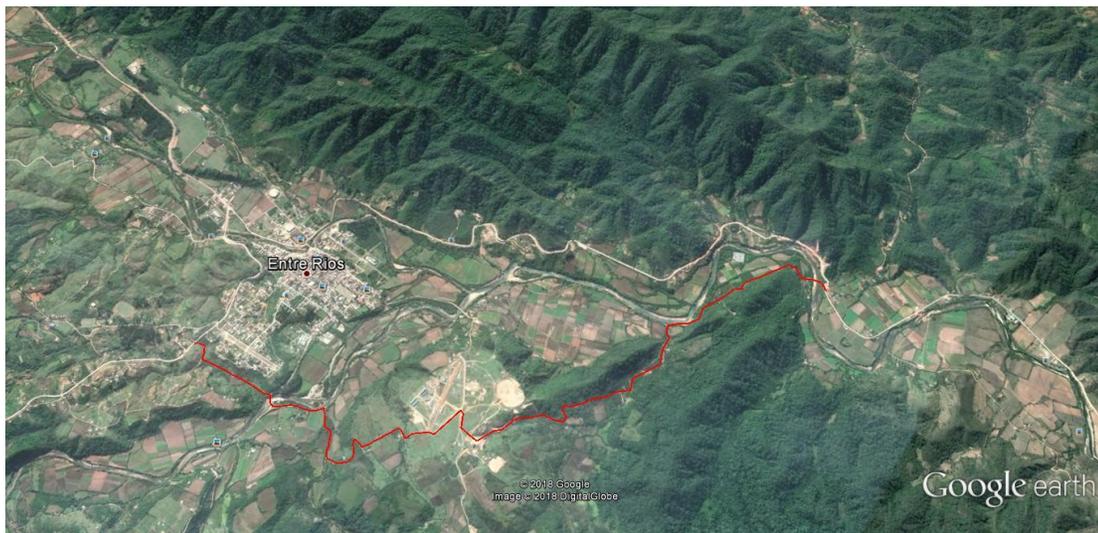
Fuente: Educa Bolivia

Gráfico N° 3: Ubicación de la zona del proyecto microlocalización



Fuente: INE

Gráfico N° 4: Ubicación de la zona del proyecto



Fuente: Google earth

3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO

3.2.1 Aspectos productivos

La producción agrícola y ganadera se da especialmente en las comunidades de Las Lomas - Naranjos. Siendo la agricultura la su principal fuente de ingresos en donde se puede apreciar cultivos de maíz, papa, cebolla, naranja, mandarinas los cuales a pesar de tener una gran extensión de cultivos tienen dificultades de sacarlos dado que no disponen de un camino en condiciones por lo cual llegan a perder gran parte de cultivos.

3.2.2 Infraestructura

Las comunidades mencionadas no cuentan con infraestructura vial y de transitabilidad estable todo el año, se tiene red eléctrica en casi la mitad de la zona de área de proyecto y el sistema de telecomunicaciones es telefónico de tipo móvil.

3.2.3 Servicios básicos, salud y educación

La dotación de agua potable es muy poca en la zona y la mayor parte de la comunidad no accede a ella debido a que los pobladores se encuentran dispersos en toda el área; no cuenta con alcantarillado sanitario ni con agua potable en las viviendas; Se cuentan con un centro de salud y con unas unidades educativas en la comunidad de Naranjos y Las Lomas.

3.3. ESTUDIOS PRELIMINARES

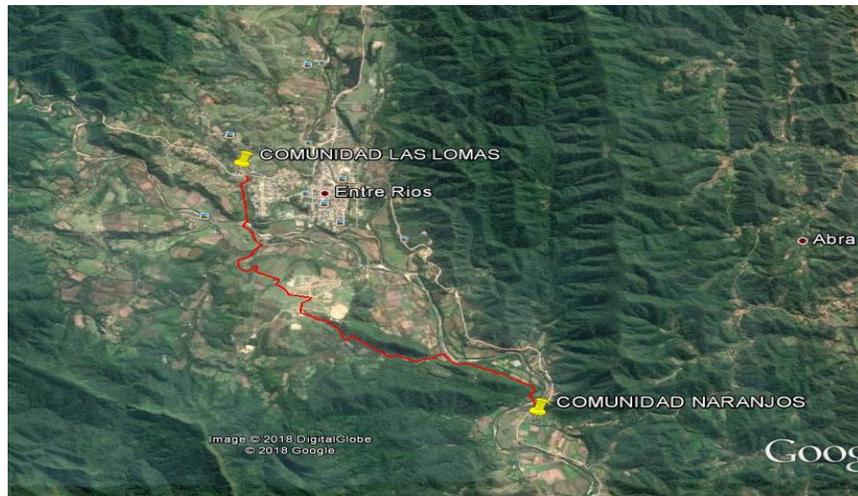
3.3.1 Estudio topográfico

Para la ejecución de un diseño geométrico es necesario partir de las características del terreno del lugar donde a ser ejecutada en obra, para ello se recurre a la topografía la cual nos ayudara a realizar un levantamiento topográfico del lugar para obtener la representación gráfica de las características del terreno del lugar del emplazamiento de proyecto.

3.3.1.1 Levantamiento topográfico

El estudio topográfico fue realizado por obras públicas de entre ríos y mi persona.

Imagen N° 1: Imagen satelital, croquis para el levantamiento del tramo Las Lomas-Naranjos



Fuente: Google earth

3.3.1.2 Trabajo de gabinete y procesamiento de datos.

Teniendo los datos de campo del levantamiento topográfico se procede a la modelación del terreno en forma digital; para esto se empleó el software AutoCAD civil 3D 2014, para la modelación hasta reproducir las curvas de nivel de terreno y modelar la superficie del campo virtualmente en el ordenador. La gran cantidad de datos (puntos) provenientes de la estación total creados en varios trabajos, deben ser ordenados y clasificados en EXCEL para una correcta modelación.

Una vez clasificada la información y modelada la superficie, el trabajo se encuentra listo para ser usado.

Un total de 2000 puntos levantados. A continuación tenemos la siguiente tabla de resumen de BMs.

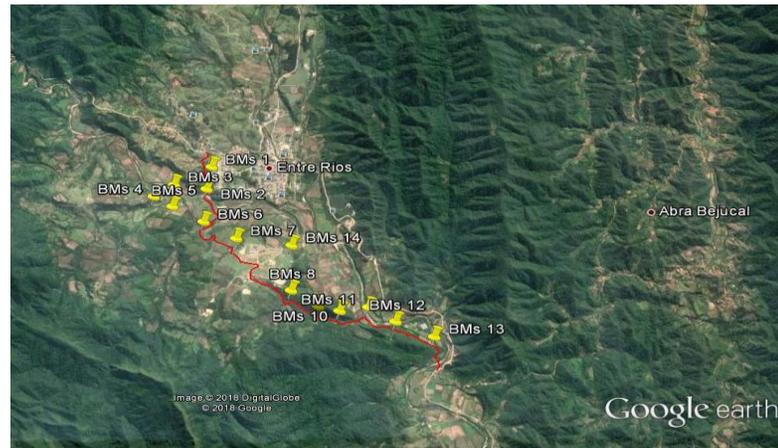
Tabla N° 35: Resumen de BMs

| Punto | Este | Norte | Cota | Descripción |
|-------|-------------|-------------|----------|-------------|
| 250 | 377548.1047 | 7619007.217 | 1285.47 | BM-01 |
| 436 | 377478.4707 | 7618597.741 | 1255.712 | BM-02 |
| 812 | 376978.7916 | 7618672.636 | 1251.374 | BM-03 |
| 1112 | 376673.0498 | 7618439.058 | 1263.025 | BM-04 |
| 1196 | 376966.2339 | 7618257.169 | 1277.52 | BM-05 |
| 2077 | 378770.0853 | 7616761.416 | 1295.559 | BM-08 |
| 2949 | 379174.9278 | 7616492.244 | 1246.665 | BM-09 |
| 3138 | 379491.7528 | 7616414.894 | 1238.073 | BM-10 |
| 3297 | 377944.0116 | 7617681.589 | 1295.517 | BM-07 |
| 3462 | 379924.1201 | 7616489.978 | 1225.789 | BM-11 |
| 3816 | 380317.0022 | 7616241.079 | 1236.716 | BM-12 |
| 4585 | 380884.1308 | 7615985.728 | 1226.629 | BM-13 |
| 5087 | 377445.3832 | 7617988.783 | 1247.562 | BM-06 |
| 6410 | 378776.022 | 7617563.9 | 1316.295 | BM-14 |
| 8283 | 379025.246 | 7618045.91 | 1236.259 | BM-15 |

Fuente: Levantamiento topográfico del tramo Las lomas – Naranjos

Las coordenadas geográficas del levantamiento topográfico (Este, norte, elevación, mas su respectiva descripción) se muestra a continuación (Hacemos notar que debido a la gran cantidad de puntos levantados se presentará una tabla parcial con dichos puntos y el detalle completo de coordenadas geográficas estará en el anexo N° 1 estudio topográfico).

Imagen N°2: Ubicación de los BMs



Elaboración propia

3.3.2 Estudio hidrológico

Este acápite trata del estudio hidrológico del tramo Las Lomas –Naranjos, la parte correspondiente al análisis pluviométrico, determinación de las intensidades de las lluvias para distintos periodos de retorno y la intensidad en los 10 min de máxima concentración para el diseño hidráulico de las obras de drenaje de carreteras.

La determinación de las curvas de intensidad – duración- frecuencia se basa en los registros continuos de las lluvias a lo largo del periodo de registro relativamente largo como para poder realizar un análisis estadístico de las intensidades de la lluvia para diferentes intervalos de tiempo. En el caso del presente proyecto se tiene tan solo registros continuos de la lluvia en la zona de influencia del proyecto de las estaciones de Berety, Narváez y Entre ríos, por lo que se trabajara con estas estaciones para determinar las curvas de intensidad- duración- frecuencia para las zonas de influencia del proyecto.

La metodología del estudio hidrológico y drenaje consideran la evaluación de las variables hidrológicas que se pueden obtener de la zona, a partir el cual se propone el sistema de drenaje, para lo cual se realizó la siguiente tarea:

Se consideró necesario el realizar una evaluación pluviométrica de la red existente en la zona a partir de las precipitaciones máximas en 24 horas.

Realizando un análisis pluviométrico se tiene los siguientes criterios de análisis:

Los registros de precipitación máxima diaria anual (máxima precipitación diaria medida durante un año), se someten a una evaluación probabilística para obtener funciones de distribución teórica que mejor se ajuste al campo de la muestra de las precipitaciones registradas.

Los valores de muestra les permiten calcular los parámetros estadísticos, caracterizados en parámetros de:

Tendencia central

Dispersión (desviación estándar)

Asimetría (sesgo)

Los parámetros estadísticos calculados a partir de los registros de precipitación máxima diaria anual (precipitación máxima anual en 24 horas, es el valor máximo durante un año medido durante un día) se muestra a continuación:

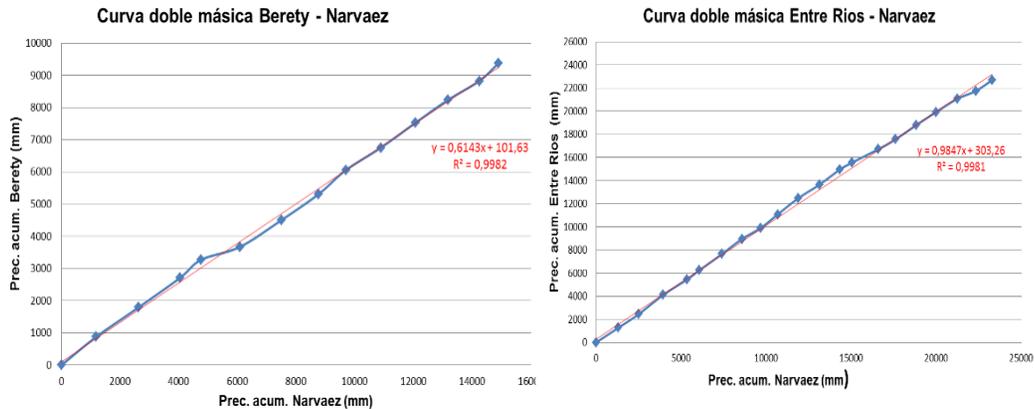
3.3.2.1 Estimación de lluvias máximas

Información climatológica La información climatológica con la que se ha trabajado corresponde a las estaciones: El Pajonal, Berety y Narvárez

Precipitación. - Se ha realizado un análisis de la precipitación anual y máxima, para evaluar la consistencia de la información y la determinación de la tormenta hipotética según el periodo de retorno de diseño y verificación.

Precipitación anual y análisis de consistencia. - Al ser la estación Narvárez la que posee mayor cantidad de registros continuos, y observando la representatividad que tendría en la zona de estudio, pues la mayor cantidad de estaciones se encuentran en la misma zona pluviométrica, se adopta la misma como estación patrón para realizar el análisis de consistencia que se presenta a continuación:

Gráfico N°5: Curva doble masa análisis de consistencia



Fuente: Elaboración propia

Precipitación máxima

La precipitación máxima en 24 horas en la zona de estudio posee los siguientes estadísticos:

Tabla N° 36: Estadístico de la precipitación máxima en 24 horas

| Estación | Estadístico | | | | |
|---------------------|-----------------|----------|------------|-------|----------------|
| | Número de datos | Promedio | Desviación | Moda | Característica |
| Narvéez | 36 | 80,84 | 22,19 | 70,86 | 0,56 |
| Entre ríos(Pajonal) | 29 | 82,32 | 22,46 | 72,21 | 0,56 |
| Berety | 15 | 65,23 | 23,68 | 54,58 | 0,78 |

Fuente: Elaboración propia en base a información del SENAMHI

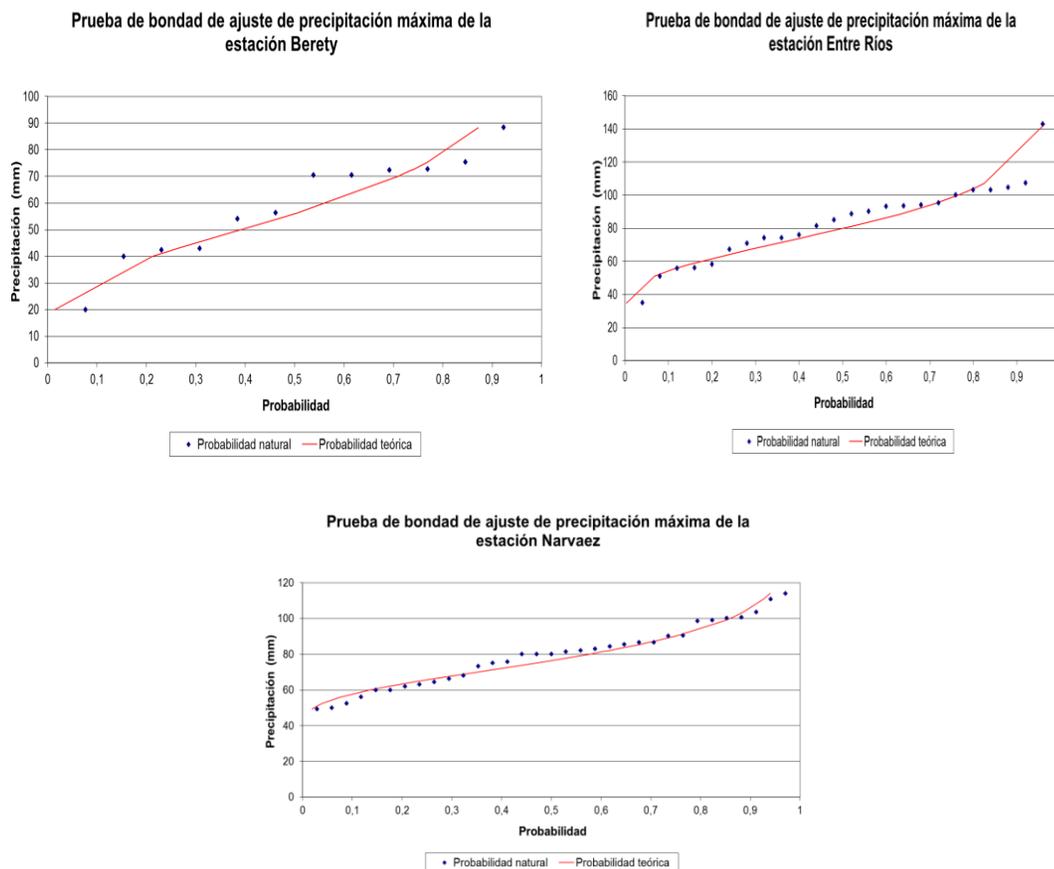
Los valores estadísticos fueron obtenidos para la distribución de Gumbel, recomendada en el manual de hidrología y drenaje - ABC.

Distribución de probabilidad y prueba de bondad de ajuste

La distribución de probabilidad preseleccionada para el desarrollo del presente estudio, es la de valores extremos tipo I o también denominada ley de Gumbel, debido a que es de mayor aplicación regional y posee parámetros definidos para un amplio rango de valores.

Una vez que fue preseleccionada, la validación de su uso se obtuvo a través de la prueba de bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov, que se resume a continuación:

Gráfico N° 6: Prueba de bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov



Fuente: Elaboración propia

Se observa que el registro de precipitación máxima en 24 horas de todas la estaciones analizadas se ajustan a la ley de Gumbel.

Precipitación máxima probable

Paso N°1

Seleccionar los datos: Se selecciona datos de altura de lluvia de 24 horas o alturas de lluvias máximas diarias.

Paso N°2

Para cada estación calcular:

Cuadro N° 1: Parámetros estadísticos de precipitación. Máxima diaria

| | Estación el Pajonal | Estación Berety | Estación Narváez |
|---------------------|---------------------|-----------------|------------------|
| Media(hd) | 82.32 | 65.23 | 80.84 |
| Desviación (Sd) | 22.46 | 23.68 | 22.19 |
| Moda (Ed) | 72.21 | 54.58 | 70.86 |
| Característica (Kd) | 0.56 | 0.78 | 0.56 |
| Numero datos | 29 | 15 | 36 |

Fuente: Elaboración propia

Paso N°3

Ponderación de datos

Moda ponderada

$$Ed^* = \frac{(Ed_1 * N^{\circ}_1) + (Ed_2 * N^{\circ}_2) + (Ed_3 * N^{\circ}_3)}{N^{\circ}_1 + N^{\circ}_2 + N^{\circ}_3} = \mathbf{68.29}$$

$$Kd^* = \frac{(Kd_1 * N^{\circ}_1) + (Kd_2 * N^{\circ}_2) + (Kd_3 * N^{\circ}_3)}{N^{\circ}_1 + N^{\circ}_2 + N^{\circ}_3} = \mathbf{0.6015}$$

Paso N°4

Modelo probabilístico de Gumbel

Calculo de altura de lluvia máxima diaria (Hdt)

$$HdT = Ed^* (1 + Kd^* \log (T))$$

Ed = Moda ponderada

Kd = Característica ponderada

T = Periodo de retorno

Cuadro N° 2: Hdt para distintos periodos de retorno

| T (años) | Hdt altura de lluvias (mm) |
|----------|----------------------------|
| 50 | 138.086 |
| 20 | 121.739 |
| 10 | 109.373 |

Fuente: Elaboración propia

PASO N°5

Calculo de altura máxima horaria

$$h_{td} = E_d * \left(\frac{t^\beta}{\alpha} \right) * [1 + k_d * \log(T)]$$

E_d =Moda PonderadaK_d=Característica ponderada

T =Periodo de retorno

t =Duración de la lluvia

α =Equivalente de la lluvia = 2 para cuencas < 20km².

B =Constante de la lluvia = 0.2 para nuestra zona.

Lluvias máximas horarias (mm)

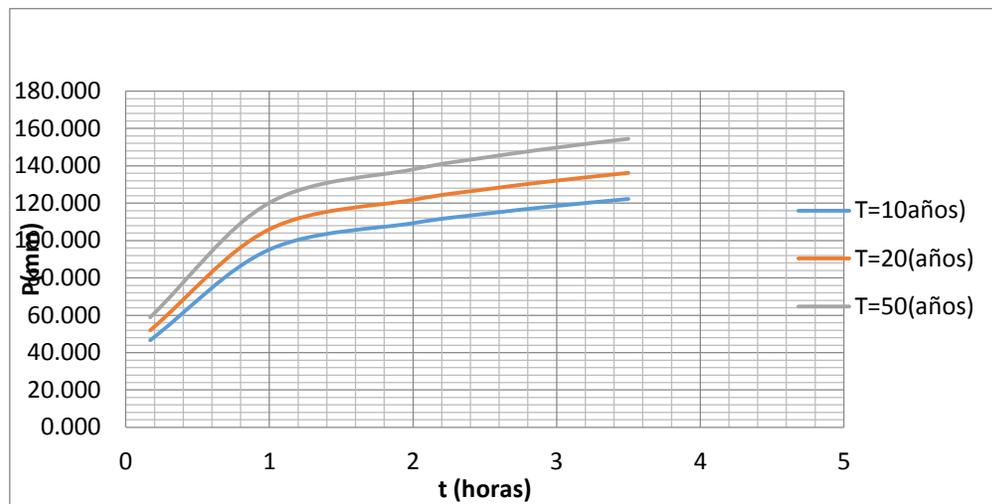
En el siguiente cuadro se determinaran las lluvias máximas horarias para diferentes periodos de retorno y duraciones de lluvia

Cuadro N° 3: Lluvias máximas horarias para distintos periodos de retorno

| PERIODO DE RETORNO [años] | DURACION DE LLUVIAS EN [horas] | | | | | |
|---------------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2 | 6 | 12 | 18.000 | 20 | 22 |
| 10 | 76.433 | 136.250 | 156.510 | 169.731 | 173.345 | 176.681 |
| 20 | 85.075 | 151.655 | 174.205 | 188.921 | 192.944 | 196.657 |
| 50 | 96.499 | 172.019 | 197.597 | 214.289 | 218.852 | 223.064 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°7 Curva de precipitación



Fuente: Elaboración propia

Para lluvia menores a 2 horas se empleó el método gráfico se explica en anexo 2 estudio hidrológico.

Intensidades máximas (mm/hr)

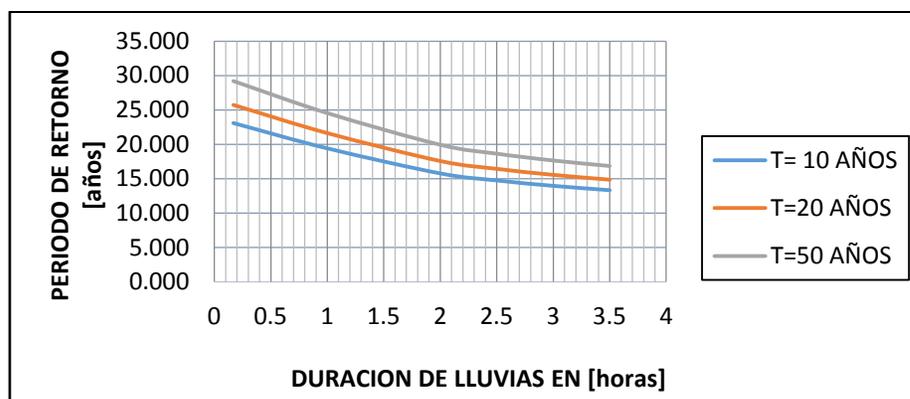
Determinación de las intensidades máximas para la construcción de la curva I.D.F. para diferentes periodos de retorno.

Cuadro N° 4: Intensidades máximas

| PERIODO DE RETORNO [años] | DURACION DE LLUVIAS EN [horas] | | | | | |
|---------------------------|--------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| | 0.17 | 0.4 | 0.8 | 1 | 1.2 | 1.5 |
| 10 | 91.746 | 66.052 | 50.617 | 46.460 | 43.319 | 39.761 |
| 20 | 121.321 | 82.690 | 60.617 | 54.850 | 50.548 | 45.739 |
| 50 | 155.182 | 103.442 | 74.475 | 67.000 | 61.453 | 55.285 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 8: Curvas IDF



Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Estudio geotécnico

El estudio geotécnico se realizó en las comunidades Las Lomas-Naranjos dentro de la provincia O Connor del departamento de Tarija y abarca la mecánica de suelos, por ende, comprende el estudio de suelos, más sus propiedades físico – mecánicas. El objetivo principal de la mecánica de suelos, es estudiar el comportamiento del suelo, para ser usado como material de construcción o como base de sustentación de las obras de ingeniería de caminos.

La investigación geotécnica, se subdividió en tres etapas:

Etapa de campo

Etapa de laboratorio

Etapa de gabinete

El trabajo de campo consistió en la excavación manual de 6 apiques cada 500 metros aproximadamente dependiendo de la estructura del mismo, con una profundidad mínima de 1 m, obteniendo de cada apique una cantidad aproximada de muestra de 35 kg, con la finalidad de conocer la distribución de los diferentes materiales determinados en punto de exploración y así establecer las condiciones de humedad, densidad natural y las situaciones estructurales de la sub rasante. Se obtuvieron un total de 6 muestras.

Tabla N° 37: Muestreo

| N° | Muestra | Prog. Estaca |
|----|---------|--------------|
| 1 | M1 | 0+426 |
| 2 | M2 | 2+161 |
| 3 | M3 | 3+303 |
| 4 | M4 | 4+224 |
| 5 | M5 | 5+045 |
| 6 | M6 | 5+966 |

Fuente: Elaboración propia

Se tomaron 6 muestras debido a que las características del suelo fueron similares, las muestras obtenidas se llevaron al laboratorio para su respectivo análisis especializado de mecánica de suelos.

Los ensayos de laboratorio son:

- Distribución granulométrica de los materiales constitutivos del suelo, mediante la vía del tamizado según ASTM;(este proceso se realizó desde el tamiz de 2 ½" hasta el tamiz N° 200).

Tabla N° 38: Numero de tamices con su respectivo diámetro

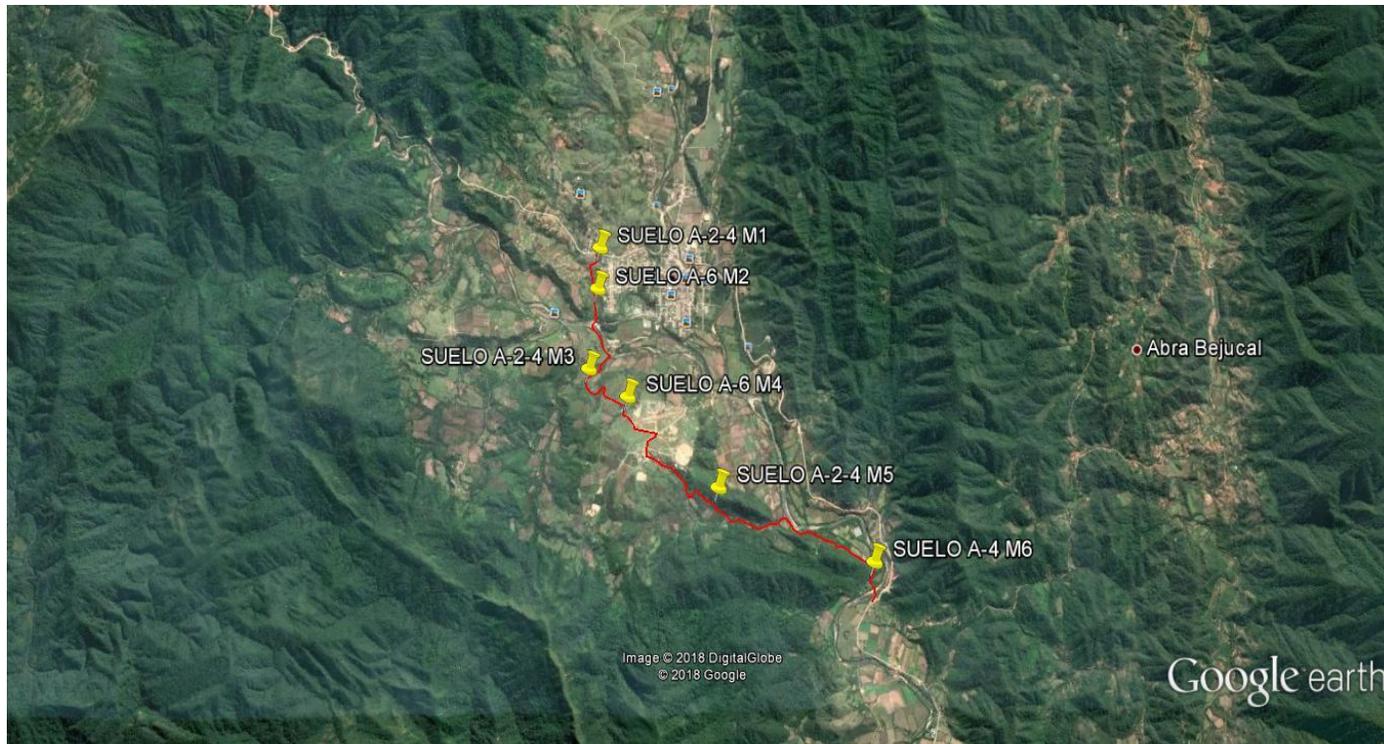
| Tamices | Tamaño |
|----------------|---------------|
| pulg | mm |
| 2 ½ | 63 |
| 2 | 50 |
| 1 ½ | 37.5 |
| 1 | 25 |
| ¾ | 19 |
| ½ | 12.5 |
| 3/8 | 9.5 |
| N° 4 | 4.75 |
| N° 10 | 2.0 |
| N° 40 | 0.425 |
| N° 200 | 0.075 |

Fuente:Manual de laboratorio de suelos en ingeniería "Joseph E. Bowles"

- Establecimiento de los límites de consistencia o límites de atterberg: (Límite líquido, límite plástico y índice de plasticidad).
- Determinación de la relación humedad- densidad mediante el ensayo proctor modificado AASHTO T 180.
- Determinación de la capacidad de soporte CBR programada según los resultados de compactación y humedad óptima.

Los respectivos ensayos están en los anexos

Imagen N°3: Plano geotecnico



Fuente: Elaboracion propia

Tabla N° 39: Resultados de suelos

| N° | Fecha | UTILIZACION | Prog. Estaca | % H. Natural | Granulometría | | | | | | | | | Límites | | | Clasif. AASTHO | | Clasif. USCS | Proctor | | CBR | | Exp. | Observaciones |
|----|-----------|-------------|--------------|--------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|---------|------|------|----------------|---|--------------|----------|--------|------|------|------|---------------|
| | | | | | 3" | 2" | 1" | 3/4" | 3/8" | N°4 | N°10 | N°40 | N°200 | L.L. | L.p. | I.p. | 1 | 2 | | D.m.a.x. | H.o.p. | 100% | 95% | | |
| 1 | 21-sep-17 | Estudio | 0+426 | 10.44 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99.9 | 99.6 | 20.6 | | NP | 0 | A - 2-4 | 0 | SM | 1916 | 10.6 | 53.7 | 27.6 | 0 | Camino Actual |
| 2 | 28-ago-17 | Estudio | 2+161 | 13.88 | 100 | 95.6 | 83.7 | 78.7 | 70.9 | 67.6 | 65.5 | 63 | 42.2 | 31.7 | 18 | 13.7 | A - 6 | 3 | GC | 1903 | 11.7 | 5 | 3.3 | 0.5 | Camino Actual |
| 3 | 4-sep-17 | Estudio | 3+303 | 5.49 | 93 | 86.8 | 75.4 | 72.5 | 64.9 | 60 | 57 | 53 | 53.8 | | NP | 0 | A - 2-4 | 0 | GM | 2058 | 8.6 | 58.9 | 30.3 | 0.1 | Camino Actual |
| 4 | 11-sep-17 | Estudio | 4+224 | 15.85 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98.1 | 97.2 | 94.2 | 90.7 | 48.8 | 26.8 | 13.9 | 12.9 | A - 6 | 4 | SC | 1959 | 10.1 | 2.9 | 2.02 | 0.4 | Camino Actual |
| 5 | 18-sep-17 | Estudio | 5+045 | 2.51 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99.8 | 95.5 | 13.6 | | NP | 0 | A - 2-4 | 0 | SM | 1889 | 9.4 | 46 | 29.9 | 0 | Camino Actual |
| 6 | 02-oct-17 | Estudio | 5+966 | 3.05 | 100 | 100 | 95.8 | 93 | 87 | 82.6 | 78.7 | 65.1 | 36.2 | | NP | 0 | A - 4 | 0 | SM | 2049 | 8.9 | 57 | 36.2 | 0 | Camino Actual |

Fuente: Elaboracion propia

3.3.4 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, otros livianos.

Buses: Micro (22 asientos), ómnibus (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 Las Lomas, en el cruce Moreta sobre la carretera, 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.

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

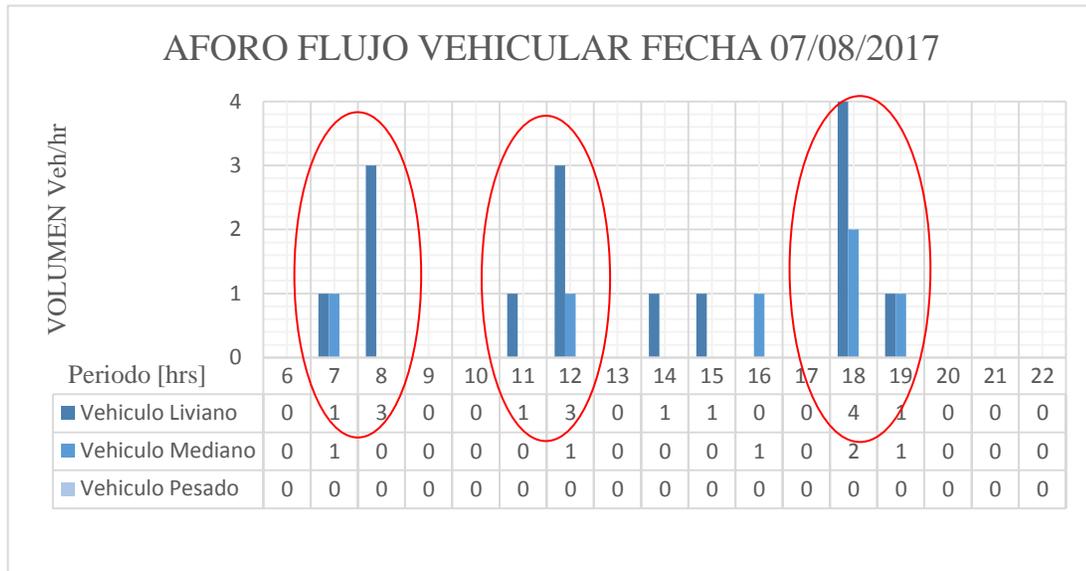
Cuadro N° 5: Conteo en ambas direcciones

| Días | Camino Las Lomas - Naranjos | | | |
|------------|-----------------------------|---------|--------|--------|
| | Vehículos | | | |
| | Liviano | Mediano | Pesado | Total |
| 2017/08/07 | 15.000 | 8.000 | 0.000 | 23.000 |
| 2017/08/08 | 17.000 | 6.000 | 0.000 | 23.000 |
| 2017/08/09 | 19.000 | 7.000 | 0.000 | 26.000 |
| 2017/08/10 | 13.000 | 7.000 | 0.000 | 20.000 |
| 2017/08/11 | 16.000 | 17.000 | 0.000 | 33.000 |
| 2017/08/12 | 15.000 | 7.000 | 0.000 | 22.000 |
| 2017/08/13 | 16.000 | 1.000 | 0.000 | 17.000 |
| 2017/08/14 | 15.000 | 3.000 | 0.000 | 18.000 |
| 2017/08/15 | 16.000 | 5.000 | 0.000 | 21.000 |
| 2017/08/16 | 14.000 | 4.000 | 0.000 | 18.000 |
| 2017/08/17 | 11.000 | 3.000 | 0.000 | 14.000 |
| 2017/08/18 | 16.000 | 4.000 | 1.000 | 21.000 |
| 2017/08/19 | 17.000 | 2.000 | 1.000 | 20.000 |
| 2017/08/20 | 13.000 | 2.000 | 1.000 | 16.000 |

| Días | Camino Las Lomas - Naranjos | | | |
|---------------|-----------------------------|--------------|--------------|---------------|
| | Vehículos | | | |
| | Liviano | Mediano | Pesado | Total |
| 2017/08/21 | 16.000 | 4.000 | 1.000 | 21.000 |
| 2017/08/22 | 18.000 | 3.000 | 1.000 | 22.000 |
| 2017/08/23 | 17.000 | 3.000 | 1.000 | 21.000 |
| 2017/08/24 | 15.000 | 2.000 | 1.000 | 18.000 |
| 2017/08/25 | 15.000 | 2.000 | 0.000 | 17.000 |
| 2017/08/26 | 14.000 | 2.000 | 1.000 | 17.000 |
| 2017/08/27 | 24.000 | 2.000 | 1.000 | 27.000 |
| 2017/08/28 | 15.000 | 5.000 | 0.000 | 20.000 |
| 2017/08/29 | 12.000 | 4.000 | 1.000 | 17.000 |
| 2017/08/30 | 13.000 | 6.000 | 0.000 | 19.000 |
| 2017/08/31 | 12.000 | 7.000 | 0.000 | 19.000 |
| 2017/09/01 | 12.000 | 4.000 | 0.000 | 16.000 |
| 2017/09/02 | 11.000 | 7.000 | 1.000 | 19.000 |
| 2017/09/03 | 13.000 | 3.000 | 0.000 | 16.000 |
| T.P.D. | 15.000 | 5.000 | 0.000 | 20.000 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 9: Variación horaria ambos sentidos



Fuente: Elaboración propia

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

$$\text{TPD} = 20 \text{ veh/día}$$

3.3.4.1 Proyección de tráfico

$$FC = \left[1 + \frac{IC}{100} \right]^N$$

Donde:

FC=Factor de crecimiento del vehículo tipo i.

IC=Índice de crecimiento del vehículo tipo i=3,62

N= Número de años, periodo de diseño

Cuadro N°6: Trafico normal

| Tráfico normal | | | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Año | Livianos | Medianos | Pesados | Total |
| 2018 | 16.000 | 5.000 | 0.000 | 21.000 |
| 2019 | 16.000 | 5.000 | 0.000 | 21.000 |
| 2020 | 17.000 | 5.000 | 0.000 | 22.000 |
| 2021 | 18.000 | 6.000 | 0.000 | 24.000 |
| 2022 | 19.000 | 6.000 | 0.000 | 25.000 |
| 2023 | 20.000 | 6.000 | 1.000 | 27.000 |
| 2024 | 21.000 | 6.000 | 1.000 | 28.000 |
| 2025 | 22.000 | 7.000 | 1.000 | 30.000 |
| 2026 | 23.000 | 7.000 | 1.000 | 31.000 |
| 2027 | 24.000 | 7.000 | 1.000 | 32.000 |
| 2028 | 25.000 | 8.000 | 1.000 | 34.000 |
| 2029 | 26.000 | 8.000 | 1.000 | 35.000 |
| 2030 | 27.000 | 8.000 | 1.000 | 36.000 |
| 2031 | 28.000 | 9.000 | 1.000 | 38.000 |
| 2032 | 30.000 | 9.000 | 1.000 | 40.000 |
| 2033 | 31.000 | 10.000 | 1.000 | 42.000 |

| Tráfico normal | | | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Año | Livianos | Medianos | Pesados | Total |
| 2034 | 33.000 | 10.000 | 1.000 | 44.000 |
| 2035 | 34.000 | 11.000 | 1.000 | 46.000 |
| 2036 | 36.000 | 11.000 | 1.000 | 48.000 |
| 2037 | 38.000 | 12.000 | 1.000 | 51.000 |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°7: Tráfico generado 10% del total

| Tráfico generado | | | | |
|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|
| Año | Livianos | Medianos | Pesados | Total |
| 2018 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| 2019 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| 2020 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| 2021 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| 2022 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| 2023 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| 2024 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| 2025 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| 2026 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |

| Tráfico generado | | | | |
|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|
| Año | Livianos | Medianos | Pesados | Total |
| 2027 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| 2028 | 3.000 | 1.000 | 0.000 | 4.000 |
| 2029 | 3.000 | 1.000 | 0.000 | 4.000 |
| 2030 | 3.000 | 1.000 | 0.000 | 4.000 |
| 2031 | 3.000 | 1.000 | 0.000 | 4.000 |
| 2032 | 3.000 | 1.000 | 0.000 | 4.000 |
| 2033 | 3.000 | 1.000 | 0.000 | 4.000 |
| 2034 | 3.000 | 1.000 | 0.000 | 4.000 |
| 2035 | 3.000 | 1.000 | 0.000 | 4.000 |
| 2036 | 4.000 | 1.000 | 0.000 | 5.000 |
| 2037 | 4.000 | 1.000 | 0.000 | 5.000 |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°8: Tráfico inducido 5 % del total

| Trafico inducido | | | | |
|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|
| Año | Livianos | Medianos | Pesados | Total |
| 2018 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2019 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |

| Trafico inducido | | | | |
|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|
| Año | Livianos | Medianos | Pesados | Total |
| 2020 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2021 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2022 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2023 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2024 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2025 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2026 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2027 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2028 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2029 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2030 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2031 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 |
| 2032 | 2.000 | 0.000 | 0.000 | 2.000 |
| 2033 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| 2034 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| 2035 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |
| 2036 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |

| Trafico inducido | | | | |
|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|
| Año | Livianos | Medianos | Pesados | Total |
| 2037 | 2.000 | 1.000 | 0.000 | 3.000 |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°9: Tráfico total

| TRAFICO FUTURO | | | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Año | Livianos | Medianos | Pesados | Total |
| 2018 | 19.000 | 6.000 | 0.000 | 25.000 |
| 2019 | 19.000 | 6.000 | 0.000 | 25.000 |
| 2020 | 20.000 | 6.000 | 0.000 | 26.000 |
| 2021 | 21.000 | 7.000 | 0.000 | 28.000 |
| 2022 | 22.000 | 7.000 | 0.000 | 29.000 |
| 2023 | 23.000 | 7.000 | 1.000 | 31.000 |
| 2024 | 24.000 | 7.000 | 1.000 | 32.000 |
| 2025 | 25.000 | 8.000 | 1.000 | 34.000 |
| 2026 | 26.000 | 8.000 | 1.000 | 35.000 |
| 2027 | 27.000 | 8.000 | 1.000 | 36.000 |
| 2028 | 29.000 | 9.000 | 1.000 | 39.000 |
| 2029 | 30.000 | 9.000 | 1.000 | 40.000 |

| TRAFICO FUTURO | | | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Año | Livianos | Medianos | Pesados | Total |
| 2030 | 31.000 | 9.000 | 1.000 | 41.000 |
| 2031 | 32.000 | 10.000 | 1.000 | 43.000 |
| 2032 | 35.000 | 10.000 | 1.000 | 46.000 |
| 2033 | 36.000 | 12.000 | 1.000 | 49.000 |
| 2034 | 38.000 | 12.000 | 1.000 | 51.000 |
| 2035 | 39.000 | 13.000 | 1.000 | 53.000 |
| 2036 | 42.000 | 13.000 | 1.000 | 56.000 |
| 2037 | 43.000 | 13.000 | 1.000 | 57.000 |

Fuente: Elaboración propia

Calculo del número de ejes equivalentes w18 para pavimento flexible

Cuadro N° 10: Factor de carga equivalente

| Descripción | Factor de carga equivalente |
|-------------------|-----------------------------|
| Livianos | 0.005 |
| Autos y vagonetas | 0.006 |
| Camionetas | 0.004 |
| Medianos | 1.413 |
| Microbuses | 0.054 |
| Buses medianos | 3.666 |
| Camiones medianos | 0.520 |
| Pesados | 2.851 |
| Buses grandes | 2.593 |
| Camiones grandes | 3.110 |

Fuente: Elaboración propia

$$W18 = \sum (TPDi) * FCi * FCEi$$

Donde:

W18= Número de ejes equivalentes

TPD= Trafico promedio diario del vehículo tipo i, en el primer año de circulación.

FC = Factor de crecimiento del vehículo tipo I

IC = Índice de crecimiento del vehículo tipo I

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

FCE=Factor de carga equivalente

Calculo del número de ejes equivalentes por tipo de vehículo para concreto asfáltico

Cuadro N° 11. Datos para el cálculo del número total de ejes equivalentes.

| Tipo de vehículo | Tráfico prom. diario (T.P.D) | Porcentaje (%) T.P.D | Índice de crecimiento (IC) | Factor de carga equiv. (FCE) |
|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Livianos | 43.000 | 75.439 | 4.690 | 0.005 |
| Medianos | 13.000 | 22.807 | 4.690 | 1.413 |
| Pesados | 1.000 | 1.754 | 4.690 | 2.851 |
| Total | 57.000 | 100.000 | | |

Fuente: Elaboración propia

Total de numero de ejes equivalentes de diseño para concreto asfaltico n=20 años

Cuadro N° 12: Total de ejes equivalentes

| Tipo de vehículo | Número de ejes equivalentes |
|--------------------------------|------------------------------------|
| Livianos | 2,757.291 |
| Medianos | 242,208.926 |
| Pesados | 37,594.792 |
| Total ejes equivalentes | 2.826x10⁵ |

Fuente: Elaboración propia

Numero de ejes equivalentes de diseño

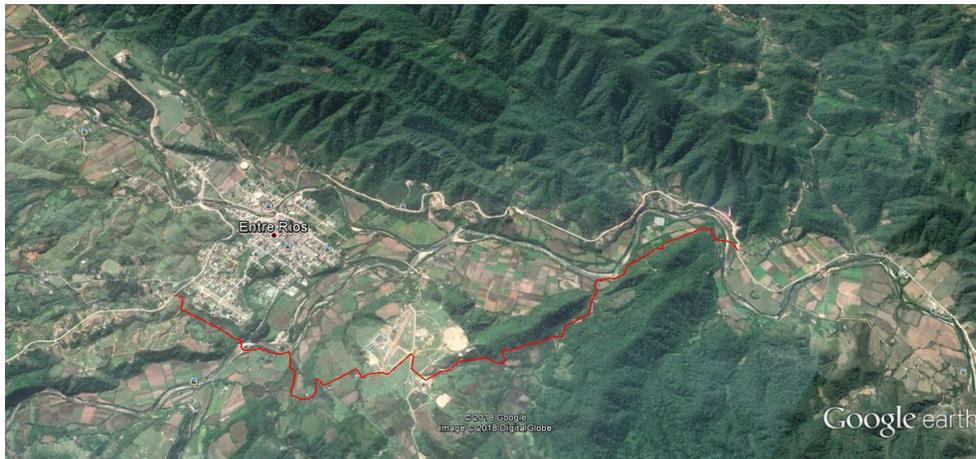
$$W18=282561.009$$

3.4 DISEÑO DE INGENIERÍA

3.4.1 Análisis y elección de alternativas.

El análisis y elección de alternativas consiste en encoger el trazo preliminar más adecuado, utilizando mapas, planos levantados o características del terreno. En este caso se utilizaron imágenes satelitales de Google Earth y el modelo de superficie realizado a partir del levantamiento topográfico. Se realizó solo un trazo de alternativa porque al inicio hay una apertura y después hay un camino como también las características topográficas que justifican la selección de la misma.

Imagen N° 4: Trazo de alternativa



Fuente Google Earth

El trazo de la alternativa 1 presenta una longitud aproximadamente de 6300 m, el trazo realizado se apegó al trazo existente, en esta alternativa se tendría que realizar el diseño de 17 alcantarillas, entre alcantarillas de alivio. Presenta una pendiente máxima de 8 % y una pendiente mínima de 0.4 %.

Para ver el detalle de alternativa se verán desde tres puntos de vista:

Social

Desde el punto de vista social la alternativa uno beneficia tanto a las comunidades de Las Lomas y beneficiarios que se encuentran en el tramo, esta alternativa es la más aconsejable considerando que no altera el medio ambiente puesto que sigue el trazo existente con mejoras de pendiente y curvas más amplias realizando mínimas afecciones a los pobladores de la región.

Técnico - económico

Desde el punto de vista técnico es la mejor opción porque permite radios de curvatura, pendientes adecuadas para la circulación de vehículos, con costos dentro de los parámetros de mejoramiento y apertura de carreteras para el tipo de zona.

Ambiental

Desde el punto de vista ambiental esta alternativa es la que tiene menos afecciones al ecosistema ya que los movimientos de tierra no son de mucha envergadura por lo cual no afecta los ríos cursos de agua ni terrenos de cultivo.

3.4.2 Diseño geométrico

3.4.2.1 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 geoméricamente 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.

3.4.2.2. 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.

3.4.2.3 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.

3.4.3 Diseño estructural

3.4.3.1 Método de diseño del paquete estructural

3.4.3.1.1 Pavimento flexible

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:

Para un periodo de diseño de 20 años.

| | | | |
|-------------------------------------|----------------|------------|-------|
| Numero de ejes equivalentes | $W_{18} =$ | 282561.009 | ESALs |
| Serviciabilidad inicial. | $P_o =$ | 4.500 | |
| Serviciabilidad final. | $P_f =$ | 2.000 | |
| Diferencia serviciabilidad. | $\Delta psi =$ | 2.500 | |
| Nivel de confianza. | $R =$ | 80.000% | |
| Desviación normal. | $Z_r =$ | -0.841 | |
| Desviación estándar. | $S_o =$ | 0.440 | |
| Módulo resiliente de la subrasante. | $M_r =$ | 4500 | psi |
| Numero estructural | $S_n =$ | 3.008 | plg |
| | $S_n =$ | 76.400 | mm |

$CBR_{Diseño} = 3.00 \%$

Tabla N° 40: Valores asumidos

| Material | CBR % | Mr(psi) | ai | mi |
|----------------------|-------|---------|------|------|
| Concreto asfáltico | | 450000 | 0.44 | 1.00 |
| Base piedra chancada | 65 | 37000 | 0.13 | 0.80 |
| Sub-base granular | 18 | 20811 | 0.10 | 0.80 |
| Sub rasante | 3 | 4500 | .. | .. |

Fuente: Elaboración propia

Como el número ESALS es **282561.009** entonces los valores serán:

Gráfico N° 10: Método AASHTO pavimento flexible

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 80 % Zr = -0.841 Ayuda
So: 0.44

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.5 Ayuda
PSI final: 2

Tránsito de diseño: W18: 282561.009

Pavimento flexible

| Capa | Módulo de elasticidad (psi) | Coefficiente de capa (ai) | Coefficiente de drenaje (mi) | SN necesario | Espesor D (plg.) | Espesor D* (plg.) | SN* dispuesto |
|------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------|------------------|-------------------|---------------|
| 1 | 450000 | ¿E/a? | 0.44 | 1 | ¿m? | 1.37 | 3.11 3.5 |
| 2 | 37000 | ¿E/a? | 0.13 | 0.8 | ¿m? | 1.73 | 1.83 2.0 |
| 3 | 20811 | ¿E/a? | 0.1 | 0.8 | ¿m? | 3.01 | 13.17 13.5 |
| 4 | 4500 | MR | | | | | 3.04 OK |

W18 real: 3.01E+005

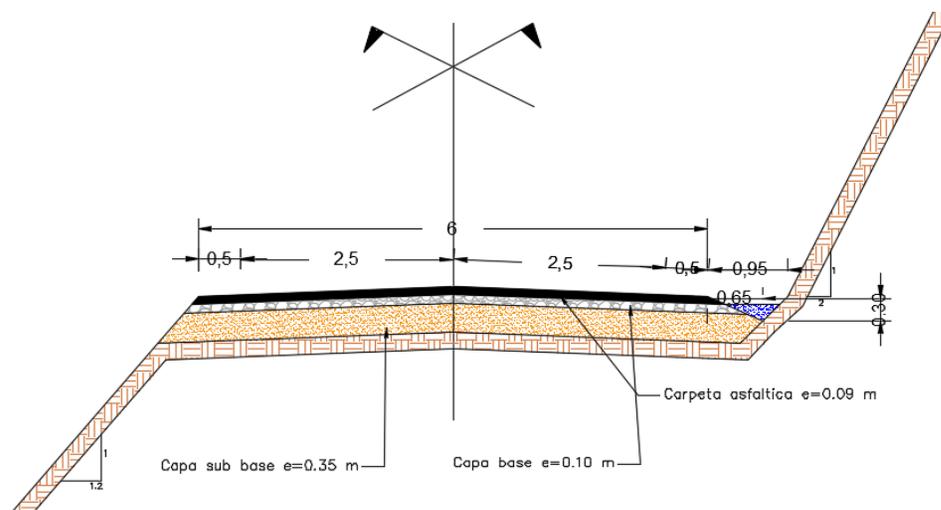
Fuente: Programa AASHTO

Tabla N°41: Resultados de paquete estructural pavimento flexible

| Periodo de diseño | Capa | Las Lomas- Naranjos |
|-------------------------|-------------------|---------------------|
| 2017 – 2037 (n=20 años) | Carpeta asfáltica | 9.000 cm |
| | Base triturada | 10.000 cm |
| | Sub base granular | 35.000 cm |

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 10: Dimensiones de paquete estructural “Pavimento flexible”



Fuente: Elaboración propia

3.4.3.1.2 Tratamiento superficial doble

El método a utilizar para el cálculo del paquete estructural es el mismo del anterior **MÉTODO DE LA AASHTO 93** variando únicamente el coeficiente de rodadura para TSD que es $a_1=0.27$ obtenido el dato de la guía para el diseño de estructuras del pavimento AASHTO 93

Datos:

$W_{18} = 84607.537$ ESALs para 7 años

$Z_R = -0.841$ Para una confiabilidad del 80%

$S_0 = 0.440$ Para pavimentos flexibles

$\Delta PSI = 2.50$ $\Delta PSI = P_o - P_t$

$P_o = 4.50$ Para pavimentos flexibles

$P_t = 2.00$ Para serviciabilidad final

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

$CBR_{Diseño} = 3.00 \%$

Tabla N° 42 Valores asumidos de coeficientes

| Material | CBR % | Mr(psi) | ai | mi |
|----------------------------|-------|---------|------|------|
| Concreto asfáltico | | 450000 | 0.16 | 1 |
| Base piedra chancada | 65 | 37000 | 0.13 | 0.95 |
| Sub-base granular | 18 | 20811 | 0.10 | 0.95 |
| Sub rasante | 3 | 4500 | .. | .. |

Fuente: Elaboración propia

Como el número ESALS es **226691.6735** entonces los valores serán:

Gráfico N° 11: Paquete estructural TSD

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 80 % Zr = -0.841 Ayuda

So: 0.44

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.5 Ayuda PSI final: 2

Tránsito de diseño: W18: 84607.537

Pavimento flexible

| Capa | Módulo de elasticidad (psi) | Coefficiente de capa (ai) | Coefficiente de drenaje (mi) | SN necesario | Espesor D (plg.) | Espesor D* (plg.) | SN* dispuesto |
|------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------|------------------|-------------------|---------------|
| 1 | 450000 | ¿E/a? | 0.44 | 1 | ¿m? | 1.08 | 2.45 |
| 2 | 37000 | ¿E/a? | 0.16 | 0.95 | ¿m? | 1.40 | 1.97 |
| 3 | 20811 | ¿E/a? | 0.14 | 0.95 | ¿m? | 2.52 | 6.11 |
| 4 | 4500 | MR | | | | | 6.5 |

W18 real: 9.85E+004

SN: 1.74 W18: 8.46E+003

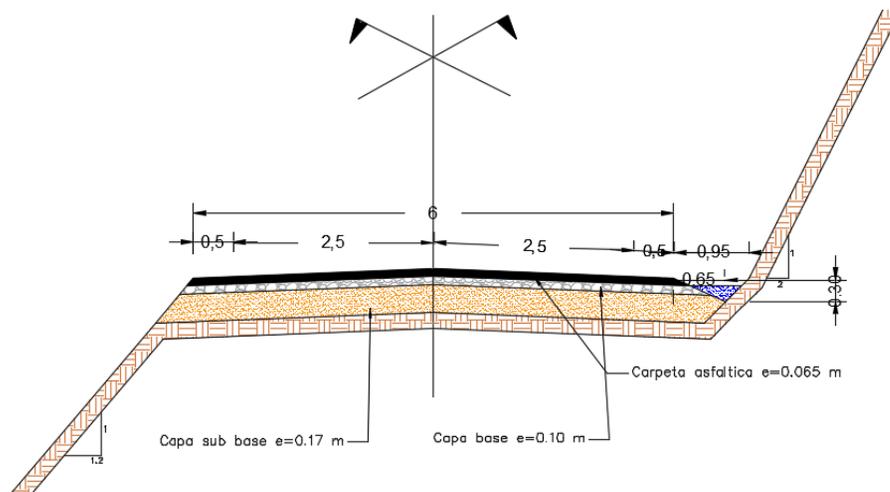
Fuente: Programa AASTHO

Tabla N°43 Resultados del paquete estructural tratamiento superficial doble

| Periodo de diseño | Capa | Las Lomas- Naranjos |
|------------------------|-------------------------------|---------------------|
| 2017 – 2024 (n=7 años) | Tratamiento superficial doble | 6.500 cm |
| | Base triturada | 10.000 cm |
| | Sub base granular | 17.000 cm |

Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Paquete estructural T.S.D



Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Diseño de drenaje

El drenaje transversal de la carretera tiene como objetivo evacuar adecuadamente el agua superficial que intercepta su infraestructura, la cual discurre por cauces naturales o artificiales, en forma permanente o transitoria, a fin de garantizar su estabilidad y permanencia.

El elemento básico del drenaje transversal se denomina alcantarilla, considerada como una estructura menor, su densidad a lo largo de la carretera resulta importante e incide en los costos, por ello se debe dar especial atención a su diseño.

3.4.4.1 Alcantarilla

En el presente estudio se proyecta la construcción de alcantarillas de sección circular de chapa Armco de diferentes diámetros según el caudal que se presenta

Alcantarillas de alivio y cruce. Construcción de 15 alcantarillas de alivio para los cursos de agua que se encuentran los siguientes tramos y 2 alcantarilla de cruce:

Tabla N° 44: Ubicación de alcantarillas Arcom

| | |
|------------------|-------|
| progresiva | 0+280 |
| progresiva | 0+420 |
| progresiva | 0+580 |
| progresiva | 0+820 |
| progresiva | 1+500 |
| Progresiva cruce | 1+740 |
| progresiva | 1+960 |
| progresiva | 2+680 |
| progresiva | 2+900 |
| progresiva | 3+520 |
| progresiva | 3+640 |
| progresiva | 3+990 |
| progresiva | 4+210 |
| progresiva | 4+540 |
| progresiva | 5+040 |
| Progresiva cruce | 5+470 |
| progresiva | 5+560 |

Fuente: Elaboración propia

A continuación mostraremos el diseño de una alcantarilla de alivio con el mayor caudal que se obtuvo de la recolección de las cunetas.

Ecuación racional

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

Donde:

Q = Caudal de diseño

I = Intensidad de precipitación a los 10 min de máxima concentración (mm/hr)

C = Coeficiente de escorrentía ($C=0,55$ Zona de vegetación media).

A = Área de aporte (ha)

Datos:

$I = 91.746$ mm/hr

$C = 0,55$

$A = 2.034952$ ha

$n = 0.018$ (Coeficiente de rugosidad tubo armco)

$b = 0$

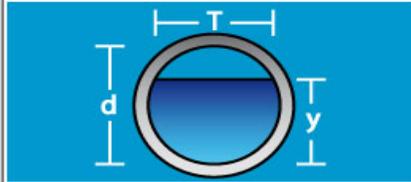
$S = 0.02$ Pendiente de alcantarilla

Reemplazando= $Q = 0.285 \text{ m}^3 / \text{s}$

Grafico N° 12: Diseño de alcantarilla

| | | | |
|--------|--------------------|----------------|----------------------|
| Lugar: | ENTRE RIOS | Proyecto: | DISEÑO DE INGENIERIA |
| Tramo: | LAS LOMAS-NARANJOS | Revestimiento: | MATERIAL ARMCO |

| | | | |
|----------------|-------|-------------------|--|
| Datos: | | | |
| Caudal (Q): | 0.072 | m ³ /s | |
| Diámetro (d): | 0.6 | m | |
| Rugosidad (n): | 0.018 | | |
| Pendiente (S): | 0.02 | m/m | |



| | | | |
|-------------------------|--------------|----------------|--|
| Resultados: | | | |
| Tirante normal (y): | 0.1373 | m | |
| Área hidráulica (A): | 0.0488 | m ² | |
| Espejo de agua (T): | 0.5041 | m | |
| Número de Froude (F): | 1.5157 | | |
| Tipo de flujo: | Supercrítico | | |
| Perímetro mojado (p): | 0.5985 | m | |
| Radio hidráulico (R): | 0.0815 | m | |
| Velocidad (v): | 1.4766 | m/s | |
| Energía específica (E): | 0.2484 | m-Kg/Kg | |

Fuente: H Canales (programa)

Se dispone de dimensiones mínimas según la norma o por detalles constructivos.

$D = 1$ m.

3.4.4.2 Cunetas

Las cunetas pueden ser de sección en forma triangular, trapezoidal, rectangular y semicircular. El drenaje longitudinal comprende básicamente una sección tipo.

Debido a la facilidad constructiva y considerando que se tiene de mucha precipitación en la zona se opta por una sección triangular con taludes asimétricos 1:2 ya que es la más fácil de construir.

A continuación, se mostrará el diseño de cuneta más desfavorable logrando así verificar el resto de las cunetas.

Progresiva 1+920 a 2+340. Calculo de caudal ecuación racional:

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

Donde:

Q = Caudal de diseño

I = Intensidad de precipitación a los 10 min de máxima concentración (mm/hr)

C = Coeficiente de escorrentía (C=0,55 Zona de vegetación media).

A = Área de aporte (ha)

Datos:

I = 91.746 mm/hr

C = 0,55

A = 2.034952 ha

N = 0.02 (Coeficiente de rugosidad canal de hormigón ciclópeo)

b = 0

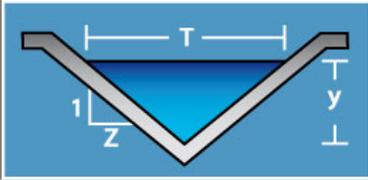
S = 0.08 Pendiente de alcantarilla

Reemplazando= Q =285 m³ /s

Grafico N° 13: Diseño de cuneta

| | | | |
|--------|--------------------|----------------|----------------------|
| Lugar: | ENTRE RIOS | Proyecto: | DISEÑO DE INGENIERIA |
| Tramo: | LAS LOMAS-NARANJOS | Revestimiento: | CONCRETO |

| | |
|----------------------|-------------------------|
| Datos: | |
| Caudal (Q): | 0.072 m ³ /s |
| Ancho de solera (b): | 0 m |
| Talud (Z): | 1 |
| Rugosidad (n): | 0.02 |
| Pendiente (S): | 0.08 m/m |



| | | | |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|
| Resultados: | | | |
| Tirante normal (y): | 0.1790 m | Perímetro (p): | 0.5064 m |
| Area hidráulica (A): | 0.0321 m ² | Radio hidráulico (R): | 0.0633 m |
| Espejo de agua (T): | 0.3581 m | Velocidad (v): | 2.2462 m/s |
| Número de Froude (F): | 2.3969 | Energía específica (E): | 0.4362 m-Kg/Kg |
| Tipo de flujo: | Supercrítico | | |

Fuente: H Canales (programa)

Se dispone de dimensiones mínimas según la norma o por detalles constructivos.

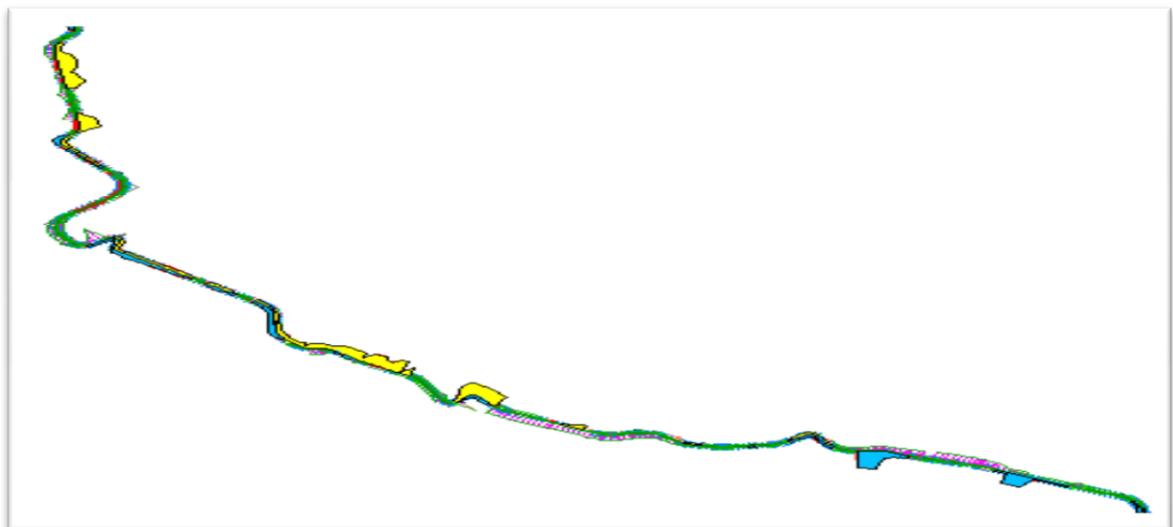
$$Z = 2$$

$$H = 0.3 \text{ m}$$

$$B = 0$$

$$T = 0.95 \text{ m}$$

Imagen N°5: Plano de áreas aporte de cunetas



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 45: Ubicación de cunetas

| Lado izquierdo | | | | Lado derecho | | | |
|--------------------|------------------|----------|----------------|--------------------|------------------|-------------|----------------|
| Progresiva inicial | Progresiva final | Longitud | Área de aporte | Progresiva inicial | Progresiva final | Longitud m. | Área de aporte |
| 0+000 | 0+040 | 40 | 1240 | 0+000 | 0+040 | 40 | 614 |
| 0+180 | 0+220 | 40 | 15196 | 0+140 | 0+380 | 240 | 6515 |
| 0+270 | 0+330 | 40 | 4021 | 0+420 | 0+600 | 180 | 3330 |
| 0+440 | 0+580 | 40 | 9086 | 0+660 | 0+820 | 160 | 6361 |
| 0+700 | 0+820 | 60 | 1736 | 1+920 | 2+340 | 420 | 1798 |
| 1+520 | 1+880 | 140 | 3768 | 2+480 | 2+620 | 140 | 5878 |
| 1+920 | 2+340 | 420 | 15680 | 2+670 | 2+820 | 80 | 1798 |
| 2+480 | 2+640 | 410 | 6583 | 2+890 | 3+200 | 400 | 2456 |
| 2+680 | 2+820 | 140 | 7834 | 3+320 | 3+880 | 140 | 8451 |
| 3+410 | 3+500 | 400 | 20349 | 3+780 | 3+880 | 220 | 5414 |
| 4+000 | 4+200 | 140 | 1009 | 3+910 | 4+210 | 220 | 5414 |
| 4+360 | 4+540 | 130 | 2235 | 4+360 | 4+560 | 130 | 11191 |
| 4+850 | 5+060 | 120 | 618 | 4+660 | 4+780 | 180 | 1732 |
| 5+200 | 5+420 | 180 | 2853 | 4+840 | 5+080 | 240 | 1435 |
| 5+580 | 5+920 | 320 | 2981 | 5+180 | 5+380 | 200 | 2351 |
| 6+100 | 6+380 | 170 | 1414 | 5+800 | 5+900 | 100 | 1466 |
| sub total | | 2450 | | sub total | | 1580 | |
| Total | | | | | | 4030 | |

Fuente: Elaboración propia

3.4.4.3 Contra cunetas o zanjas de coronamiento

Las contra cunetas pueden ser de sección en forma triangular, trapezoidal, rectangular y semicircular. El drenaje longitudinal comprende básicamente una sección tipo.

Debido a la facilidad constructiva y considerando que se tiene de mucha precipitación en la zona se opta por una sección triangular con taludes asimétricos 1:2 ya que es la más fácil de construir.

A continuación, se mostrará el diseño de cuneta más desfavorable logrando así verificar el resto de las cunetas.

Progresiva 4+070 a 4+210. Calculo de caudal ecuación racional:

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

Donde:

Q = Caudal de diseño

I = Intensidad de precipitación a los 10 min de máxima concentración (mm/hr)

C = Coeficiente de esorrentía (C=0,55 Zona de vegetación media).

A = Área de aporte (ha)

Datos:

I = 91.746 mm/hr

C = 0,55

A = 0.36 ha

N = 0.02 (Coeficiente de rugosidad canal de hormigón ciclópeo)

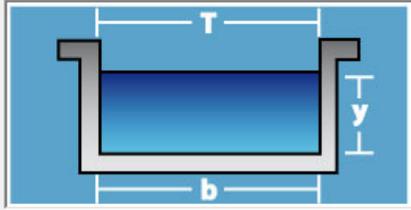
b = 0

S = 0.02 Pendiente de alcantarilla

Reemplazando= Q =0.05 m³ /s

Grafico N° 14: Diseño de contra cuneta

| Datos: | |
|----------------------|---|
| Caudal (Q): | <input type="text" value="0.05"/> m ³ /s |
| Ancho de solera (b): | <input type="text" value="0.25"/> m |
| Talud (Z): | <input type="text" value="0"/> |
| Rugosidad (n): | <input type="text" value="0.02"/> |
| Pendiente (S): | <input type="text" value="0.02"/> m/m |



| Resultados: | | | |
|-----------------------|--|-------------------------|---|
| Tirante normal (y): | <input type="text" value="0.1648"/> m | Perímetro (p): | <input type="text" value="0.5796"/> m |
| Área hidráulica (A): | <input type="text" value="0.0412"/> m ² | Radio hidráulico (R): | <input type="text" value="0.0711"/> m |
| Espejo de agua (T): | <input type="text" value="0.2500"/> m | Velocidad (v): | <input type="text" value="1.2134"/> m/s |
| Número de Froude (F): | <input type="text" value="0.9543"/> | Energía específica (E): | <input type="text" value="0.2399"/> m·Kg/Kg |
| Tipo de flujo: | <input type="text" value="Subcrítico"/> | | |

Fuente: H Canales (programa)

Se dispone de dimensiones mínimas según la norma o por detalles constructivos.

$$Z = 0$$

$$H = 0.3 \text{ m}$$

$$B = 0.25$$

$$T = 0.25 \text{ m}$$

Tabla N° 46: Ubicación de contra cunetas

| Progresiva inicial | Progresiva final | Longitud (m) | Área de aporte (m ²) |
|--------------------|------------------|--------------|----------------------------------|
| 4+070 | 4+210 | 140 | 3605.7 |
| 4+940 | 5+040 | 100 | 2051.9 |
| 5+560 | 5+640 | 80 | 898.86 |

Fuente: Elaboración propia

3.5 CÓMPUTOS MÉTRICOS

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

1. Determinar la cantidad de material necesario para ejecutar la obra
2. Establecer los volúmenes de obra y costos parciales con fines de pago por avance de obra.

Los cálculos métricos son problema de la medición de longitudes, áreas y volúmenes que requieren el manejo de fórmulas geométricas. El cálculo métrico requiere del conocimiento de procedimientos constructivos.

Los cálculos métricos realizados para el proyecto, se detallan en los anexos (cálculos métricos).

3.6 PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO

3.6.1 Pavimento flexible.

El presupuesto general del pavimento flexible del tramo en estudio se mostrara en la siguiente tabla (Se la realizo con ayuda del Prescom).

Tabla N° 47: Presupuesto general de pavimento flexible

| N° | Descripción | Und. | Cantidad | Unitario | Parcial (Bs) |
|----|---|----------------|-----------|----------|-------------------|
| | M1 - Obras preliminares | | | | 60448.64 |
| 1 | Instalación de faenas | glb | 1.00 | 292,062. | 292,062.72 |
| 2 | Replanteo y control topográfico | km | 6.32 | 12,144.6 | 76,754.31 |
| 3 | Limpieza de terreno y deshieve | ha | 5.06 | 5,707.06 | 28,877.72 |
| 4 | provisión y colocado de letrero en obra | pza | 2.00 | 5,698.13 | 11,396.26 |
| | M2 - Movimiento de tierras | | | | 9516698.71 |
| 5 | Excavación clasificada s. semiduro | m ³ | 279,405.7 | 14.29 | 3,992,707.4 |
| 6 | Conformación de terraplén | m ³ | 342,869.0 | 25.94 | 8,894,021.8 |
| 7 | Sobreacarreo de material excedente | m ³ | 63,463.00 | 12.02 | 762,825.26 |

| M3 - Conformado paquete estructural | | | | | 6344997.12 |
|--|---|----------------|-----------|----------|----------------------|
| 8 | Conformación de capa subbase | m ³ | 15,120.00 | 98.19 | 1,484,632.8 |
| 9 | Conformación de capa base | m ³ | 5,544.00 | 163.36 | 905,667.84 |
| 10 | Asfalto diluido para imprimación | m ² | 50,400.00 | 6.36 | 320,544.00 |
| 11 | Capa de rodadura pavimento flexible | m ³ | 3,528.00 | 1,164.24 | 4,107,438.72 |
| M4 - Obras de arte menor | | | | | 762425.45 |
| 12 | Replanteo/control obras de alcantarillad | pza | 17.00 | 273.00 | 4,641.00 |
| 13 | Excavación c/maquinaria p/obras de arte | m ³ | 760.59 | 89.86 | 68,346.62 |
| 14 | H°c° p/alcnt. cámara colector dos.(1:2:3) 50%pd | m ³ | 74.25 | 675.43 | 50,150.68 |
| 15 | cama de arena para alcantarilla | m ³ | 36.45 | 94.14 | 3,431.40 |
| 16 | Provisión y colocado de tubos armco d=1 m | m | 162.00 | 460.85 | 74,657.70 |
| 17 | Relleno y compactado tubo armco | m ³ | 315.90 | 151.55 | 47,874.64 |
| 18 | H°c° p/alcnt. aleros dos.(1:2:3) 50%pd | m ³ | 69.02 | 610.71 | 42,151.20 |
| 19 | Cuneta revestida de h°c° | m ³ | 775.20 | 627.97 | 486,802.34 |
| M5 - Limpieza general de obra | | | | | 14192.4 |
| 20 | Limpieza general | glb | 1.00 | 14192.4 | 14192.4 |
| Total presupuesto: | | | | | 16,698,762.32 |
| Son: Dieciseis Millon(es) Seiscientos Noventa y Ocho Mil Setecientos Sesenta y Dos con 32/100 Bolivianos | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Tratamiento superficial doble.

El presupuesto general del tratamiento superficial doble del tramo en estudio se mostrara en la siguiente tabla (Se la realizo con ayuda del Prescom)

Tabla N° 48: Presupuesto general de tratamiento superficial doble

| N° | Descripción | Und | Cantidad | Unitario | Parcial (Bs) |
|----|---|----------------|-----------|-----------|-------------------|
| | M1 - Obras preliminares | | | | 60448.64 |
| 1 | Instalación de faenas | glb | 1.00 | 292,062.7 | 292,062.72 |
| 2 | Replanteo y control topográfico | km | 6.32 | 12,144.67 | 76,754.31 |
| 3 | Limpieza de terreno y deshierbe | ha | 5.06 | 5,707.06 | 28,877.72 |
| 4 | Provisión y colocado de letrero en obra | pza | 2.00 | 5,698.13 | 11,396.26 |
| | M2 - Movimiento de tierras | | | | 9516698.71 |
| 5 | Excavación clasificada s. semiduro | m ³ | 279,405.7 | 14.29 | 3,992,707.45 |
| 6 | Conformación de terraplén | m ³ | 342,869.0 | 25.94 | 8,894,021.86 |
| 7 | Sobre acarreo de material excedente | m ³ | 63,463.00 | 12.02 | 762,825.26 |
| | M3 - Tratamiento superficial doble | | | | 3018787.6 |
| 8 | Conformación de capa subbase | m ³ | 15,120.00 | 98.19 | 1,484,632.80 |
| 9 | Conformación de capa base | m ³ | 5,544.00 | 163.36 | 905,667.84 |
| 10 | Asfalto diluido para imprimación | m ² | 50,400.00 | 6.36 | 320,544.00 |
| 11 | Tratamiento superficial doble | m ³ | 1,512.00 | 1,157.49 | 1,750,124.88 |
| | M4 - Obras de arte menor | | | | 762425.45 |
| 12 | Replanteo/control obras de alcantarillad | pza | 17.00 | 273.00 | 4,641.00 |
| 13 | Excavación c/maquinaria p/obras de arte | m ³ | 760.59 | 89.86 | 68,346.62 |
| 14 | H°C° p/alcnt. cámara colector dos.(1:2:3) 50%pd | m ³ | 74.25 | 675.43 | 50,150.68 |

| | | | | | |
|--|---|----------------|--------|---------|----------------------|
| 15 | Cama de arena para alcantarilla | m ³ | 36.45 | 94.14 | 3,431.40 |
| 16 | Provisión y colocado de tubos armco d=1 m | m | 162.00 | 460.85 | 74,657.70 |
| 17 | Relleno y compactado tubo armco | m ³ | 315.90 | 151.55 | 47,874.64 |
| 18 | H°C° p/alcnt. aleros dos.(1:2:3) 50%pd | m ³ | 69.02 | 610.71 | 42,151.20 |
| 19 | Cuneta revestida de H°C° | m ³ | 775.20 | 627.97 | 486,802.34 |
| | M5 - Limpieza general de obra | | | | 14192.4 |
| 20 | Limpieza general | glb | 1.00 | 14192.4 | 14192.4 |
| | Total presupuesto: | | | | 13,372,552.80 |
| Son: Trece Millon(es) Trescientos Setenta y Dos Mil Quinientos Cincuenta y Dos con 80/100 Bolivianos | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Elección de alternativa: De acuerdo a las alternativas mostradas de presupuesto se opta por el diseño de paquete estructural del pavimento flexible por ser más durable que un tratamiento superficial doble con el doble de vida útil. Tabla

Nº48: Elección de alternativa de pavimento flexible y TSD.

| Pavimento flexible (ventajas) | Tratamiento superficial doble (ventajas) |
|---|---|
| <p>Son baratas a comparación del hormigón</p> <p>Tiene un periodo de vida útil de 10 a 20 años siempre y cuando se realice reparaciones</p> | <p>Es barato</p> <p>Ahorro de mecanismos y tiempo</p> <p>Ciclos de inyección más rápidos</p> <p>Tiene una vida útil menor del pavimento flexible de 5 a 10 años</p> <p>Uso para bajos y medios volúmenes de trafico</p> |

Fuente: Elaboración propia

3.7. FICHA AMBIENTAL

3.7.1 Identificación de los impactos ambientales en la etapa de construcción.

El presente acápite identifica los potenciales impactos ambientales que generaría el proyecto durante sus etapas de construcción.

3.7.2 Impactos sobre el medio físico

Impactos sobre el suelo

En la etapa constructiva, los impactos que se producirán sobre el suelo serian producto de la limpieza y desbroce, excavación, relleno y compactación. En este caso, se produciría la pérdida de suelo como producto de actividades antes mencionadas, que originaron un cambio permanente en el uso de suelo. Por lo expuesto el impacto se considera negativo, localizado, duración permanente e irreversible.

El manejo y disposición inadecuados de lubricantes y cualquier tipo de hidrocarburo provenientes del uso y mantenimiento de la maquinaria, producirían esterilidad del suelo. El impacto sería negativo, de mediana importancia, localizado, y parcialmente reversible.

Impactos sobre el agua y los drenajes naturales

La inadecuada disposición de desechos de construcción en causes de quebradas, obstaculizan el drenaje de las mismas. El impacto sería negativo, localizado y parcialmente reversible.

El manejo inadecuado de desechos provenientes del mantenimiento y limpieza de la maquinaria, afectaría el cauce y la calidad del agua de los cursos intermitentes, privando o degradando en consecuencia la fuente de agua, así como su uso para la población y la agricultura. Este impacto sería negativo, de mediana importancia, extensivo, y reversible.

Impactos sobre el aire

La emisión de gases que generarían por la maquinaria y los vehículos en el área de trabajo, originara un impacto negativo, de baja importancia, localizado, corta duración y reversible.

Se producirán emisiones de polvo producto del transporte de los materiales; actividad de limpieza, desbroce, excavación, relleno y compactación, así como debido al desplazamiento de vehículos en el área seleccionada como vías alternas y en los caminos de acceso a la obra, se considera que el impacto es negativo, mediana importancia, localizado, corta duración y reversible.

Impactos sobre niveles de presión sonora

Se producirán altos niveles de presión sonora (ruido) producto del transporte de los materiales; actividades de excavación, relleno y compactación, así como debido al desplazamiento de vehículos en las áreas seleccionadas como vías alternas y en los caminos de acceso a la obra. Debido a que el trazado de la vía comprende áreas pobladas, se considera que el impacto es negativo, mediana importancia, localizado, corta duración y reversible.

3.7.3 Impactos sobre el medio biótico

Impactos sobre la flora

En la mayor parte del trazado no habrá un impacto significativo sobre este componente ambiental, ya que el mejoramiento del camino se realizara ocupando las áreas despejadas y ya existentes, donde la vegetación es poco predominantemente.

Habrá afectaciones a algunos árboles que actualmente se encuentran al pie de la vía existente. El impacto se considera negativo, poca importancia, localizado y reversible.

Impactos sobre la fauna

El desbroce y la tala de la vegetación en el sector de nuevo trazado ocasionarían la pérdida de hábitats, refugio, fuentes de alimentación de aves y pequeños mamíferos.

Bajo estas consideraciones, se considera como impacto negativo, mediana importancia, extensivo, permanente e irreversible.

Adicionalmente, la presencia humana indudablemente contribuirá a ahuyentar de manera temporal a la fauna más sensible en el área de trabajo y sus alrededores.

3.7.4 Impactos sobre los ecosistemas

Como consecuencia del desbroce podría generarse la fragmentación de ecosistemas pequeños y la desaparición de estos a mediano plazo. Este impacto se daría en los

remantes más cercanos al área sujeta al efecto de “borde”. Siendo este de carácter negativo, localizado, duración permanente e irreversible.

3.7.5 Impactos al medio socioeconómicos

Impactos sobre la salud y seguridad del componente humano.

Falta de capacitación del personal en el manejo de equipos, mal funcionamiento de los mismos por falta de mantenimiento preventivo de los mismos, y ausencia de implementos de protección, pueden afectar la seguridad y salud de trabajadores.

Este tipo de impactos es negativo, alta importancia, puntual, corta duración.

La falta de una adecuada señalización durante la etapa constructiva puede incrementar los riesgos de ocurrencia de accidentes de tráfico, especialmente en los tramos del proyecto que coinciden con la vía existente.

3.7.6 Impactos sobre el empleo

La creación de fuentes de trabajo temporales para las taras de desbroce o de apertura de las franjas de servidumbre y mantenimiento de caminos, y en general actividades que no requieran material especializado, generan beneficios temporales de los moradores de la zona. El impacto es positivo alta importancia y de corta duración.

3.7.7 Impactos sobre las actividades económicas

Como complemento del impacto positivo antes anotado, también habría un incremento de las actividades comerciales (actividades económicas) debido a la presencia de trabajadores en el sector (para el desarrollo de cada actividad que comprende la construcción del proyecto), que podría generar actividades económicas por parte de moradores de varios sectores como, por ejemplo, comedores de trabajo que servirán para los trabajadores de las constructoras, lo que a su vez redundará en un beneficio para quienes habitan en el lugar como una fuente adicional de ingresos. Este impacto es positivo e importante.

Para calificar se utilizó el matriz resumen de identificación de impacto ambiental que contiene los valores ponderados de los impactos ambientales negativos y positivos de cada atributo ambiental, ver **anexos** los resultados de este análisis se resumen en la siguiente grafica que nos muestra el grado de impacto ambiental que produce la construcción de carretera.

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se ha realizado el diseño final de ingeniería del tramo Las Lomas– Naranjos de 6.4 km de longitud con pavimento flexible el cual tendrá un costo de construcción de bs. 16.031.381,81 con un periodo de diseño de 20 años (2.504.903,408 bs/km)
- Se ha realizado el diseño final de ingeniería del tramo Las Lomas– Naranjos de 6.4 km de longitud con tratamiento superficial doble el cual tendrá un costo de construcción de bs. 13.375.165,49 con un periodo de diseño de 7 años (2.089.869,608 bs/km)
- Según el estudio de tráfico vehicular realizado se determinó un número de 282,561.008 ESALs para 20 años de periodo de diseño, siendo este de baja circulación.
- De acuerdo a la norma ABC (administradora boliviana de carreteras) se clasifico el tipo de carretera como camino de desarrollo. Tomando en cuenta la cantidad de tráfico proyectado y principalmente a la topografía del tramo. Esta categorización fue asumida del manual de las normas de diseño geométrico para la construcción de carreteras administradora boliviana de carreteras.
- El diseño geométrico se lo realizo adecuando el alineamiento existente estableciendo los puntos pi y diseñando curvas horizontales y verticales cumplimento los criterios y limitaciones del manual de diseño geométrico de la administradora boliviana de carreteras.
- Según el tipo de carretera el ancho de carril se adoptó 2.500m con 0.500m de ancho de berma teniendo un ancho total de plataforma de 6.000m.
- De acuerdo a las características y parámetros solo se diseñó curvas circulares simples debido a la velocidad y la topografía del proyecto según a la norma de ABC. En las curvas circulares se tomó en cuenta un radio mínimo 25m, pendientes máximas en rectas (%) 10-12.
- De acuerdo al estudio geotécnico realizado, se distingue tres tipos de suelos según la clasificación AASHTO, siendo estos suelos a-2-4₍₀₎, a-6₍₃₎ y a-4₍₀₎ se encontró presencia de suelos finos y arcillas expansivas.

- Se realizó el ensayo de relación soporte de california de los tipos de suelos determinados del tramo, en los cuales el C.B.R. menor se presenta en los suelos $a_{6(0)}$, con un valor de 3.3 % al 95% de la densidad máxima cuyo valor es el que se adoptó para el diseño del paquete estructural.
- Se diseñó el paquete estructural de pavimento flexible con carpeta asfáltica de 9.000cm, una base granular de 10.000cm y una capa sub base de 35.000 cm.
- Se diseñó otra alternativa de paquete estructural con tratamiento superficial inicial de 6.500 cm de espesor, con una base granular de 10.000cm y una capa sub base de 17.000 cm.
- Resultado del cálculo del movimiento de tierras, se tiene volumen de corte de excedencia por lo que se estableció dos lugares para el depósito de materiales cerca las quebradas afluentes, las misma se muestran en los planos.
- Se realizó el diseño de las alcantarillas de alivio, cuya ubicación está en los puntos más bajos del alineamiento vertical y aproximadamente cada 100.000m de longitud. Por otra parte, se diseñaron alcantarillas de cruce donde las quebradas no sea tan importante.

4.2 RECOMENDACIONES

- Recomendamos que, para todo diseño de ingeniería, los datos deben de tomarse con claridad y calidad, debido a disponer poco terreno (Topografía) para trabajar se tuvo que extrapolar algunas curvas de nivel para poder simular el terreno por lo cual se recomienda realizar un mejor estudio topográfico si se desea construir el camino.
- En cuanto al diseño geométrico y estructural, se recomienda el correcto uso de tabla, índices, ábacos y otros que nos presenta la normativa vigente en el país para el diseño de carreteras (Norma de la administradora Boliviana de Carreteras), Sin embargo se recomienda leer otras normativas o bibliografía para completar el conocimiento pudiendo así reducir costos innecesarios.
- Se recomienda el uso de pavimento flexible ya que a pesar de ser más caro los beneficios que este presenta son muchos mayores haciendo esta opción viable.

- Si bien las alcantarillas de alivio obtenidas presentan diámetros pequeños que no son consideradas por el manual de la ABC, se debe colocar diámetros comerciales.
- Para la aplicación de paquetes que nos ayuden es necesario entender interpretar los resultados que estos nos dan, para poder corregirlos manualmente para no cometer errores por la mala interpretación de los resultados.