

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El diseño de ingeniería, se refiere al estudio mediante normativas que produce resultados consistentes y coherentes, para ello se va mejorar el comportamiento del camino, comprendiendo cada elemento que pueda afectar las características más relevantes del camino para su buen funcionamiento.

El tramo en estudio Monte – Hornos es importante para el desarrollo de las comunidades que entrelazan este camino, tanto económico como social, dicho tramo no dispone de información sobre ninguna clase de estudio previo antes de su uso, ni con un diseño acorde las normas de la Administradora Boliviana de Caminos.

El autor de este trabajo propone hacer en el proyecto es mejorar el camino actual del tramo Monte – Hornos, (Yesera Sud), mediante el estudio completo de los componentes del diseño de ingeniería mediante normativas, de tal forma se pueda garantizar la eficiencia del camino y la transitabilidad de los vehículos, peatones y comunidades beneficiadas.

La tesis tiene la finalidad de mejorar el tramo Monte - Hornos así mismo dando mayor seguridad, comodidad y tranquilidad tanto para los vehículos y peatones, para lo cual se realizará el estudio completo de los componentes del diseño de ingeniería mediante normativas, tanto en laboratorio como en gabinete, ayudándonos con software como ser el CIVIL3D, H CANALES, ARGIS; etc.

Todos los análisis de resultados respaldados bajo la Normas de la Administradora Boliviana de Caminos, como ser en la parte práctica de laboratorios de suelos, topografía, hidrología y drenaje y partes estructural realizando dicha acción del mejoramiento del tramo afectará de manera positiva, servirá para aumentar el desarrollo productivo, económico y social de las comunidades afectadas aumentando la calidad de vida de las mismas.

1.1. Antecedentes

Los primeros constructores de carreteras fueron los mesopotámicos entre los años 4.000 y 3.500 AC, los arqueólogos han conseguido calles pavimentadas en la antigua ciudad de Ur. En el año 3.000 AC se comenzaron a usar ladrillos para construir las calles en la India.

El aumento de tamaño y densidad de las poblaciones en las ciudades de las primeras civilizaciones y la necesidad de comunicación con otras regiones se tornó necesaria para hacer llegar suministros alimenticios o transportarlos a otros consumidores, es allí donde surgen las carreteras.

Así, el crecimiento de la red vial se ha dado en los últimos 60 años. La carretera Cochabamba-Santa Cruz fue la primera, en 1954, supliendo la histórica carencia del vínculo ferroviario entre el altiplano y el oriente boliviano. Esta interconexión entre oriente y occidente permitió un crecimiento exponencial de Santa Cruz, que pasó de 46.000 habitantes a más de 1,6 millones en ese período, y generó una transformación radical en el país. Hasta 1975, se habían desarrollado las carreteras La Paz-Oruro y Cochabamba-Villa Tunari. Esto implicaba la interconexión de las capitales de solamente cinco de los nueve departamentos que constituyen la división político-territorial del país.

La construcción de la red férrea de Bolivia comenzó básicamente asociada a la producción minera y a las particularidades geográficas del país (mediterraneidad), que hicieron necesaria la construcción de vías de acceso a los puertos de los países vecinos: Chile y Perú al principio y, más tarde, Argentina y Brasil. La red del altiplano tuvo como objetivo conectar con los puertos chilenos de Antofagasta y Arica y con el puerto peruano de Matarani (en ese caso, con la intermediación del transporte fluvial a través del lago Titicaca); por su parte, la red del oriente boliviano se conformó mediante acuerdos con Argentina y Brasil, conectando a través de los pasos de Yacuiba y Villazón, en el primer caso, y las ciudades de Quijarro y Corumbá en el segundo. La red actual activa es de 3.067 km.

En Tarija se vienen ejecutando varios proyectos de diseño de ingeniería en caminos vecinales, departamentales o municipales que incluyen aperturas, mejoramientos, recapamientos, pavimentados y otros, relacionados a la construcción de vías de

comunicación. la Gobernación del Dpto. de Tarija, Alcaldías Municipales, son las encargadas de llevar a cabo la construcción y ejecución de caminos en todos los municipios, pero la falta de infraestructura caminera es evidente, puesto que varias comunidades se ven afectadas por una serie de cortes de caminos ocasionando pérdidas agrícolas y pecuarias por dichos cortes, los problemas viene agravándose de manera progresiva, produciendo impactos negativos en la economía de la zonas, y por ende, frena el desarrollo de los Municipios y Comunidades.

El tramo en estudio Cruce Monte – Hornos que consta de aproximadamente de 5.296 km es importante para el desarrollo de las comunidades que entrelazan este camino, tanto económico como social, dicho tramo no dispone de información sobre ninguna clase de estudio previo antes de su uso, ni con un diseño acorde las normas de la Administradora Boliviana de Caminos (ABC) definiendo así un diseño eficiente en beneficio de las comunidades afectadas.

1.2. Situación Problemática

En la actualidad el camino (rodadura de tierra) que unen las zonas Monte – Hornos ubicado en Yesera Sur de la provincia cercado departamento de Tarija las comunidades que entrelazan el tramo no cuentan con un buen acceso ocasionando pérdidas económicas y a si mismo afectando la calidad de vida por el impedimento al no contar con acceso y circulación adecuados para su desarrollo socio-económico. Por estos motivos se tiene la necesidad de presentar un diseño de ingeniería (progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+296). generando alternativas de solución acorde a las normas de la ABC.

Con la realización de los estudios previos al diseño de ingeniería de acuerdo a las normas de la ABC se dará alternativas para mejorar el tramo, estableciendo así las características físicas del mismo, concluyendo en soluciones óptimas para su funcionamiento dando así mejor calidad de vida a los beneficiarios tanto social como económicamente.

1.2.1. Problema

¿De qué manera, un diseño de ingeniería puede establecer parámetros para mejora el tramo vial “Monte-Hornos” (progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+296), cumpliendo las normativas viales vigentes?

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema

Los caminos son elementos esenciales para el desarrollo socioeconómico de las comunidades, siendo una prioridad tener un camino en óptimas condiciones, para la explotación de la producción que se dispone mejorando así su calidad de vida para los beneficiarios.

Por esta razón se vio la necesidad de realizar el diseño de ingeniería en cumplimiento de las normas vigentes dispuestas por la ABC, tal que contribuirá la integración de las comunidades de “Horno - Montes”, que además servirá para incrementar la actividad productiva de la región. Dando así solución a cualquier falencia existente en su diseño rustico que por el momento están sometidos los vehículos que circulan entre las diferentes zonas mencionadas.

Trabajo de campo y levantamientos de datos

- Levantamiento topográfico.
- Evaluación de la demanda de tráfico (movimiento vehicular y de personas).
- Extracción de muestras de la ruta para posterior estudio geotécnico.
- Recopilación de datos para estudio hidrológico e Hidráulico.
- Consideraciones de seguridad Vial en la ruta.

Diseño de Ingenierita tramo Cruce Monte - Hornos

- Ensayos de laboratorio.
- Diseño Geométrico.
- Diseño de Paquete estructural.
- Diseño de Drenajes.
- Señalización.
- Cubicación de corte y relleno.
- Elaboración de planos generales y detalles.

Selección de opción

- Presupuesto de construcción.

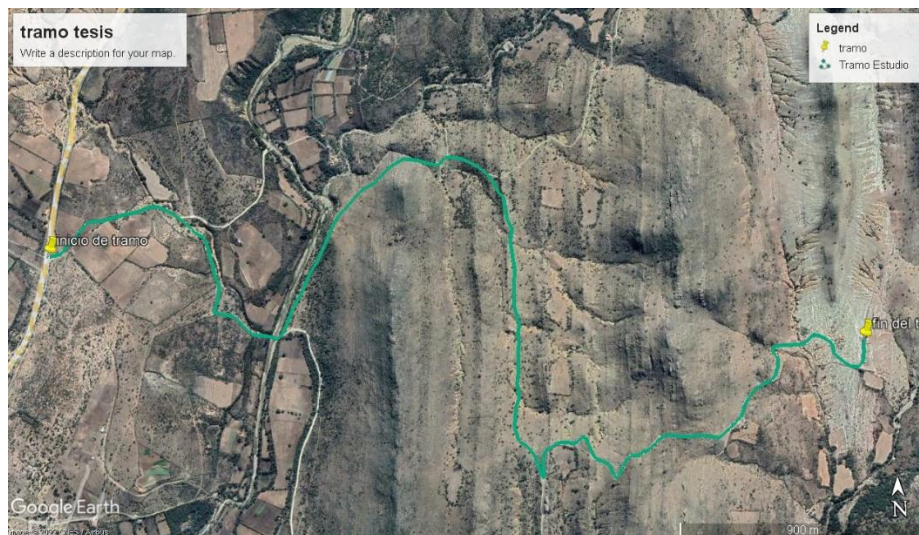
1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema

Sé tomo un tiempo de 16 semanas para la realización de todas las actividades necesarias adecuadas al proyecto en el periodo del semestre II gestión 2025.

El diseño de ingeniería se realizó en el departamento de Tarija, provincia Cercado en la comunidad de Yesera Sur del tramo zona Monte - Hornos (progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+296).

Geográficamente el proyecto inicia en la Zona de Horno con coordenadas Este 338299.72 y norte 7627483.16 y culmina en zona Montes con coordenadas Este 341315.25 y Oeste 7627173.59

Figura 1 Imagen Satelital



Fuente: Google Earth Pro

1.3. Justificación

El desarrollo de las comunidades depende íntimamente de los medios de transporte; la falta de una buena infraestructura caminera es uno de los mayores obstáculos para lograr un mayor desarrollo económico y social.

El diseño de ingeniería de acuerdo a normativas actuales en nuestro país es la parte más importante del proyecto de una carretera, establecido en base a las condiciones y factores

existentes, para satisfacer al máximo los objetivos de funcionalidad, seguridad, comodidad, así como también la integración de las comunidades.

Ante la necesidad de tener con un camino que vincule a las comunidades mencionadas, se hace imprescindible contar con un proyecto de ingeniería adecuado a las características que se encuentren bajo las Normas de la Administradora Boliviana de Caminos; por lo que este estudio pretende contribuir dando la mejor alternativa de diseño y que éste cumpla con la condición técnica y económica más favorable.

La ejecución del proyecto permitirá garantizar la transitabilidad vehicular entre comunidades, llegando con esto a mejorar la calidad de vida de los habitantes, a través del aumento en los ingresos económicos mediante la comercialización e intercambio de sus productos agrícolas (arveja, papa, maíz) e implementación de nuevos productos (frutilla y arándano) aumentando con estos su desarrollo, de tal manera que estos pueden llegar a los mercados con menores precios y de manera competitiva en condiciones óptimas y en menor tiempo debido al ahorro de transporte tanto en tiempo como precio de pasajes.

Otra gran preocupación surge a partir de que los comunarios no disponen de un puesto de salud fijo, otorgando la necesidad de contar con una vía que garantice y mejore la transitabilidad vehicular, para ser atendidos en casos de emergencia y traslado al centro hospitalario más cercano sea estos en Yesera Norte o Santa Ana (cajas de salud ambulatorias) o en su caso a la ciudad de Tarija.

1.4. Objetivos

Los objetivos planteados para el trabajo de diseño de ingeniería son los siguientes:

1.4.1. Objetivo General

- Diseñar la ingeniería del tramo caminero “Cruce Monte-Hornos” (progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+296), de acuerdo a las normas vigentes de la ABC de tal forma que el mejoramiento garantice la eficiencia y transitabilidad vehicular en beneficio de los usuarios.

1.4.2. *Objetivos Específicos*

- Realizar estudios previos al diseño de ingeniería en el Tramo Cruce Monte – Hornos (Topografía; Hidrología, Geotecnia; Trafico).
- Diseñar el paquete estructural, trazo geométrico, sistema de drenajes del tramo caminero.
- Verificar resultados obtenidos con relación a las normas de la ABC.
- Proponer la opción más favorable para la ejecución del diseño.

1.5. *Hipótesis.*

“Si se realiza el diseño de ingeniería del camino “Cruce Monte – Hornos” conforme a las normas vigentes y se evalúan dos alternativas técnicas, entonces será posible seleccionar la opción más eficiente, asegurando la mejora de la transitabilidad y seguridad del tramo.”

1.6. *Identificación del Tipo de Investigación*

El trabajo se enmarca en una investigación aplicada con enfoque cuantitativo y analítico, de tipo exploratorio, descriptivo y correlacional, ya que identifica problemas iniciales, caracteriza variables técnicas y analiza relaciones entre ellas para seleccionar la alternativa de diseño más adecuada.

1.7. *Unidades de Estudio y Decisión Muestral.*

1.7.1. *Unidad de estudio*

Diseño de ingeniería de las carreteras de la red municipal del Departamento de Tarija.

1.7.2. *Población*

Diseño de ingeniería del municipio de Cercado.

1.7.3. *Muestra*

Diseño de ingeniería de la carretera tramo Monte – Hornos (progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+296),

1.7.4. *Selección de las técnicas de muestreo*

La técnica utilizada es la de muestreo Intencional.

1.8. Procesamiento De la Información

El procesamiento de la información recolectada y realizada se validó mediante un análisis estadístico con relación a las normas de la ABC:

1.9. Alcance de la Investigación

1.9.1. Alcance Exploratorio

La investigación tiene un alcance exploratorio porque permite identificar, reconocer y comprender las condiciones iniciales del tramo caminero.

Incluye:

- Revisión preliminar de la zona de estudio.
- Identificación de problemas de transitabilidad, geometría deficiente o fallas del pavimento (si existe camino).
- Exploración del terreno, clima, drenaje, tránsito y entorno.
- Revisión de la normativa aplicable y posibles alternativas de diseño.

Su objetivo es obtener una visión inicial que permita orientar y fundamentar el desarrollo del diseño vial.

1.9.2. Alcance Descriptivo

La investigación es descriptiva porque caracteriza de manera detallada todas las variables que intervienen en el diseño de la carretera.

Incluye:

- Descripción del relieve, topografía y geotecnia del terreno.
- Caracterización del tránsito: volumen, composición vehicular, crecimiento, cargas equivalentes.
- Descripción del sistema de drenaje natural y cuencas.
- Descripción de restricciones geométricas, ambientales y sociales.
- Presentación detallada de cada alternativa de diseño propuesta.

Se enfoca en documentar cómo es la realidad del tramo y cuáles son sus condiciones técnicas.

1.9.3. Alcance Correlacional

La investigación alcanza un nivel correlacional porque analiza la relación entre variables técnicas que influyen en la selección de la mejor alternativa de diseño.

Ejemplos de correlaciones típicas:

- Relación entre tipo de suelo (CBR) y espesor del pavimento requerido.
- Relación entre tráfico proyectado y nivel de servicio (LOS).
- Relación entre pendiente del terreno y costos de movimiento de tierra.
- Relación entre intensidad de lluvias y diseño del drenaje.
- Relación entre geometría propuesta y seguridad vial.

Permite explicar cómo una variable técnica influye en otra y justificar la selección de la alternativa óptima.

CAPÍTULO II

DISEÑO DE INGENIERIA

2.1. Definición

El diseño de ingeniería es el conjunto de procesos de toma de decisiones y las actividades empleadas, para determinar la forma de un objeto dado que responda a las funciones deseadas por el beneficiario. Ya sea que se esté diseñando un componente, un producto, un sistema o un proceso, reunimos y procesamos grandes cantidades de información. Se tiene la tarea de decidir qué necesidades son importantes para los beneficiarios, incluidas las funciones necesarias del producto y las características deseadas del mismo. Tratamos de determinar los niveles deseables de rendimiento y establecemos criterios de evaluación con los que podemos comparar los méritos de los diseños alternativos. Consideramos los aspectos técnicos, económicos, de seguridad, sociales, o las restricciones normativas que pueden limitar nuestras opciones. Usamos nuestra capacidad creativa para sintetizar diseños alternativos que incorporen formas variadas, configuraciones, tamaños, materiales o procesos de fabricación diferentes. Se utiliza los conocimientos y métodos de las ciencias básicas, matemáticas y ciencias de la ingeniería para predecir o simular el comportamiento de cada alternativa antes de ser construida, evitando, de esta forma, pérdidas de tiempo y costo en ajustes. De este modo, se considera como influyen cada una de las “funciones” en las "formas" alternativas. Y comunicamos nuestras decisiones como un conjunto de especificaciones de fabricación suficientemente detalladas para fabricar y ensamblar el objeto deseado. Notemos que el diseño puede tener numerosos significados. A veces nos referimos a un artefacto o cosa como un "diseño", o como en "el diseño bien concebido” (Cabanillas Cerdan, 2019, pág. 3)

2.2. Proyecto de Ingeniería

Corresponde efectuar un proyecto de ingeniería vial, que defina el diseño, ubicación, tipo, materiales, etc., de todas las obras, dispositivos y elementos identificados.

Se debe considerar el diseño geométrico, operativo y ubicación de todos los elementos físicos y de señalización adecuados a la definición de velocidad límite en el tramo de vía en estudio, a su vez hidrología, geología, dispositivos de control y tránsito.

Las modificaciones deben resumirse en un plano a escala apropiada del tramo. En general, los diseños físicos deben ceñirse a lo dispuesto en las diferentes normas de la ABC. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007)

2.3. Carreteras o caminos

Algunos acostumbran denominar caminos a las vías rurales, mientras que el nombre de carreteras se lo aplican a los caminos de características modernas destinadas al movimiento de un gran número de vehículos. En este documento se usarán, indistintamente, los dos términos para indicar lo mismo, según la definición que sigue.

La carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada (Castelà Sayago, 2015, pág. 3).

2.4. Función de la carretera o camino

Las vías de transporte están destinadas fundamentalmente a servir al tránsito de paso, a dar acceso a la propiedad colindante o bien a dar un servicio que sea combinación de ambas posibilidades.

En el primer caso interesa posibilitar velocidades de desplazamiento elevadas, que puedan ser mantenidas a lo largo de toda la ruta en condiciones seguras. Para que se justifiquen económicamente las inversiones que implica la infraestructura asociada a este tipo de servicio, se requerirán demandas de tránsito elevadas, del orden de varios miles o decenas de miles de vehículos como promedio diario anual. Los elevados volúmenes de tránsito a que se hace referencia obligan, normalmente, a pasar de carreteras de dos carriles para tránsito bidireccional a carreteras de cuatro o más carriles destinadas a tránsito unidireccional, lo anterior con el objeto de evitar problemas de congestión que invalidan la función asignada: “permitir tránsito ininterrumpido a elevados volúmenes de demanda, en los que coexistirán vehículos rápidos y lentos (automóviles y camiones), sin que unos restrinjan la libertad de maniobra y selección de velocidad deseadas por los otros” (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 2).

2.5. Factores que intervienen en el diseño de una carretera o camino

Existen factores de distinta naturaleza que influyen en diversos grados el diseño de una carretera. No siempre es posible considerarlos explícitamente en una instrucción o recomendación de diseño en la justa proporción que les puede corresponder.

En consideración a lo anterior, en cada proyecto será necesario examinar la especial relevancia que pueda adquirir uno o varios factores, según se analizan, para luego considerarlos adecuadamente al aplicar el “Sistema de Clasificación Funcional para Diseño” que se señala en el Párrafos más abajo y cuyas particularidades respecto del diseño se tratan más adelante (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 1.1).

2.5.1. Factores funcionales

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

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

2.5.2. Factores físicos

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

- Relieve
- Hidrografía
- Geología
- Clima

2.5.3. Factores de costo asociados a la carretera

Los costos asociados a una carretera son consecuencia de la categoría de diseño adoptada para ella. Esta relación es tan directa que muchas veces actúa como un criterio realimentador que obliga a modificar decisiones previas respecto de las características asignadas a un Proyecto. Estas situaciones se resolverán mediante los estudios económicos de Prefactibilidad o Factibilidad.

2.5.4. Factores humanos y ambientales

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

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

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

(Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 1.1)

2.6. Sistema de clasificación funcional para diseño

La clasificación de carreteras y caminos motivo de la presente sección está orientada específicamente al diseño.

Sin embargo, en Bolivia existe una clasificación definida en el Decreto Supremo 25134 de 1998 que define el Sistema Nacional de Carretera. Esta clasificación no está orientada al diseño, sino a la administración de las redes viales del país, definiendo tres niveles dentro del sistema: Red Fundamental, Redes Departamentales y Redes Municipales. La Red Fundamental está bajo la responsabilidad de la Administradora Boliviana de Carreteras (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 1.23).

2.7. Sistema de clasificación

2.7.1. Categoría de las vías

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

- Carreteras: autopistas, autorutas y primarias
- Caminos: colectores, locales y de desarrollo

Cada categoría se subdivide según las 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 de dicha terminología es:

2.7.1.1. 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 $\pm 3\%$.

2.7.1.2. 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.

2.7.1.3. Terreno Montañoso: Está constituido por cordones montañosos o “Cuestas”, en las cuales el trazado salva desniveles considerables en términos absolutos. La rasante del proyecto presenta pendientes sostenidas de 4 a 9%, según la Categoría del Camino, ya sea subiendo o bajando. La planta está controlada por el relieve del terreno (Puntillas, Laderas de fuerte inclinación transversal, Quebradas profundas, etc.) y también por el desnivel a salvar, que en oportunidades puede obligar al uso de Curvas de Retorno.

En consecuencia, el empleo de elementos de características mínimas será frecuente y obligado.

En trazados por donde se atraviesan zonas urbanas o suburbanas, salvo casos particulares, no es el relieve del terreno el que condiciona el trazado, siendo el entorno de la ciudad, barrio industrial, uso de suelo, etc., el que los impone. Situaciones normalmente reguladas por el Plan Regulador y su Seccional correspondiente (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, págs. 23-24).

Tabla 1 Clasificación funcional para diseño de carreteras y caminos

CATEGORIA		SECCION TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	CODIGO TIPO
		Nº DE CARRILES	Nº DE CALZADAS		
AUTOPISTA	(O)	4 o + UD	2	120-100-80	A (n) - xx
AUTORUTA	(I.A)	4 o + UD	2	100-90-80	AR (n) - xx
PRIMARIO	(I.B)	4 o + UD	2 (1)	100-90-80	P (n) - xx
		2 BD	1	100-90-80	P (2) - xx
COLECTOR	(II)	4 o + UD	2 (1)	80-70-60	C (n) - xx
		2 BD	1	80-70-60	C (2) - xx
LOCAL	(III)	2 BD	1	70-60-50-40	L (2) - xx
DESARROLLO		2 BD	1	50-40-30	D - xx

Fuente: Manual de Diseño Geométrico, ABC.

a. Autopista (O)

Son carreteras nacionales diseñadas desde su concepción original para cumplir con las características y niveles de servicio que se describen a continuación. Normalmente su emplazamiento se sitúa en terrenos rurales donde antes no existían obras viales de alguna consideración, que impongan restricciones a la selección del trazado y pasando a distancias razonablemente alejadas del entorno suburbano que rodea las ciudades o poblados (circunvalaciones).

Están destinadas a servir prioritariamente al tránsito de paso, al que se asocian longitudes de viaje considerables, en consecuencia, deberán diseñarse para velocidades de desplazamiento elevadas, pero en definitiva compatibles con el tipo de terreno en que ellas se emplazan. Todo lo anterior debe lograrse asegurando altos estándares de seguridad y comodidad.

La sección transversal estará compuesta por dos o tres carriles unidireccionales dispuestos en calzadas separadas por un cantero central de al menos 13 m de ancho si está previsto pasar de 2 carriles iniciales por calzada a 3 carriles futuros. En ese caso las estructuras deberán construirse desde el inicio para dar cabida a la sección final considerada.

En ellas se autorizará sólo la circulación de vehículos motorizados especialmente diseñados para el transporte de pasajeros y carga, quedando expresamente prohibido el tránsito de maquinaria autopropulsada (Agrícola, de Construcción, etc.)

Las velocidades de proyecto, según el tipo de emplazamiento son:

- Terreno Llano a Ondulado Medio 120 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte 100 km/h
- Terreno Montañoso 80 km/h

Para poder desarrollar las velocidades indicadas bajo condiciones de seguridad aceptables las Autopistas deberán contar con Control Total de Acceso a todo lo largo del trazado, respecto de los vehículos, peatones y animales que se encuentren fuera de la faja del derecho de vía. El distanciamiento entre enlaces consecutivos deberá ser mayor o igual a 5,0 Km., medidos entre los extremos de los carriles de cambio de velocidad de ambos enlaces, o se considerará el diseño de accesos direccionales aislados.

El resto de las características geométricas y obras se detallan en los siguientes Capítulos (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 24).

b. Autorrutas (I.A)

Son carreteras nacionales existentes a las que se les ha construido o se le construirá una segunda calzada prácticamente paralela a la vía original. Normalmente se emplazan en corredores a lo largo de los cuales existen extensos tramos con desarrollo urbano, industrial o agrícola intensivo, muy próximo a la faja de la carretera.

Están destinadas principalmente al tránsito de paso, de larga distancia, pero en muchos subtramos sirven igualmente al tránsito interurbano entre localidades próximas entre sí. Podrán circular por ellas toda clase de vehículos motorizados incluso aquellos que para hacerlo deban contar con una autorización especial, y que no estén expresamente prohibidos o cuyo tipo de rodado pueda deteriorar la calzada.

La sección transversal deberá contar con al menos dos carriles unidireccionales por calzada debiendo existir un cantero central entre ambas cuyas dimensiones mínimas se especifican en el próximo Capítulo.

Las velocidades de proyecto consideradas son:

- Terreno Llano a Ondulado Fuerte 100 y 90 km/h
- Terreno Montañoso 80 km/h

Las Autorrutas deberán contar con Control Total de Acceso respecto del acceso o salida de vehículos a ella; preferentemente se dará también control de acceso respecto de los peatones y animales a todo lo largo de la ruta, previéndose obligatorio este tipo de control de acceso en las zonas de enlaces, pasarelas y zonas adyacentes a poblados, con longitudes suficientes como para forzar a los peatones a usar los dispositivos especialmente dispuestos para su cruce.

El distanciamiento entre Enlaces sucesivos lo regulará la Administradora Boliviana de Carreteras según las circunstancias particulares de cada emplazamiento; en todo caso resulta conveniente que el espacio libre entre extremos de carriles de cambio de velocidad de enlaces sucesivos no sea menor que 3,0 Km (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 25).

c. Carreteras primarias (I.B)

Son carreteras nacionales o regionales, con volúmenes de demanda medios a altos, que sirven al tránsito de paso con recorridos de mediana y larga distancia, pero que sirven también un porcentaje importante de tránsito de corta distancia, en zonas densamente pobladas.

La sección transversal puede estar constituida por carriles unidireccionales separadas por un cantero central que al menos de cabida a una barrera física entre ambas calzadas más 1,0 m libre desde ésta al borde interior de los carriles adyacentes, pero por lo general se tratará de una calzada con dos carriles para tránsito bidireccional.

Las Velocidades de Proyecto consideradas son las mismas que para las Autorrutas, de modo que en el futuro mediante un cambio de estándar puedan adquirir las características de Autorruta:

Tabla 2 Velocidades de diseño para carreteras primarias

	Terreno Llano y Ond. Fuerte	Terreno Montañoso
Calzadas Unidireccionales	100 – 90 km/h	80 km/h
Calzadas Bidireccionales	100 – 90 km/h	80 km/h

Fuente: Manual de Diseño Geométrico, ABC.

Las Carreteras Primarias deberán contar con un Control Parcial de Acceso, entendiéndose por tal, aquel en que se disponga de enlaces desnivelados toda vez que ellos se hagan necesarios por condiciones de seguridad y capacidad derivadas del volumen de tránsito

que presenta la vía secundaria (Colector o Local). Los cruces con líneas férreas deberán ser considerados de acuerdo a la topografía (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 25).

d. Caminos colectores (II)

Son caminos que sirven tránsitos de mediana y corta distancia, a los cuales acceden numerosos caminos locales o de desarrollo. El servicio al 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 ciclovías.

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 80 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte 70 km/h
- Terreno Montañoso 60 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 cuenten con los dispositivos reglamentarios señalados en la Ordenanza del Tránsito. En zonas densamente pobladas se construirán carriles auxiliares en que se habilitarán Ciclovías (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, págs. 25-26).

e. Caminos locales (III)

Son caminos que se conectan a los Caminos Colectores. Están destinados a dar servicio preferentemente a la propiedad adyacente. Son pertinentes las Ciclovías. La sección transversal prevista consulta dos carriles bidireccionales de las dimensiones especificadas y las velocidades de proyecto consideradas son:

- Terreno Llano a Ondulado Medio 70 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte 60 km/h

– Terreno Montañoso 50 y 40 km/h

(Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, págs. 25-26)

f. Caminos de desarrollo

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

La Sección Transversal que se les asocia debe permitir el cruce de un vehículo liviano y un camión a velocidades tan bajas como 10 km/hr y la de dos camiones, estando uno de ellos detenido.

Las velocidades referenciales de proyecto son:

- Terreno Llano a Ondulado Medio 50 y 40 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte a Montañoso 30 km/h

(Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 26)

2.8. Normas para el diseño de carreteras

2.8.1. Manuales técnicos para el diseño de carreteras

El documento es parte de los Manuales Técnicos para el Diseño de Carreteras en Bolivia. Estos manuales se realizaron en el marco del proyecto “Elaboración y Actualización de los Manuales Técnicos de Diseño Geométrico, Diseño de Obras de Hidrología y Drenaje, Dispositivos de Control de Tránsito y Ensayos de Suelos y Materiales, para Carreteras” para la Administradora Boliviana de Carreteras, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo y desarrollado por APIA XXI Ingenieros y Arquitectos Consultores.

2.8.1.1. Manual de Diseño Geométrico

El tema central de este Volumen, como lo fue en su antecesor (“Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras”, Servicio Nacional de Caminos, 1990), es el diseño

geométrico de los elementos constitutivos de la vialidad, entendida ésta como parte inseparable de un contexto espacial.

El diseño geométrico de carreteras es la parte más importante del proyecto de una carretera estableciendo, en base a las condicionantes y factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto que supone, para satisfacer al máximo los objetivos de funcionalidad, seguridad, comodidad, integración en su entorno, armonía o estética, economía y elasticidad, de la vía. Las distintas materias se tratan en términos de un Instructivo que establece procedimientos y límites normativos. Ello implica analizar y detallar suficientemente los fundamentos de los procedimientos, límites normativos y recomendaciones que el volumen contiene. En el caso de materias aún poco difundidas en el ambiente vial, el texto adquiere mayor relevancia con el fin de facilitar la incorporación de estos conceptos a la práctica habitual del diseño de carreteras.

El Volumen se encuentra dividido en ocho Capítulos: Controles Básicos de Diseño, Diseño Geométrico del Trazado, La Sección Transversal, Túneles, Puentes y Estructuras Afines, Intersecciones, Excepciones Criterios Ambientales. En cada uno de estos Capítulos se entregan recomendaciones de diseño hidráulico de las obras consideradas en este manual, incluyendo los antecedentes técnicos necesarios para su aplicación y se especifican normas y criterios de proyecto.

2.8.1.2. Manual de Hidrología y Drenaje

El presente Volumen presenta recomendaciones y normas de diseño generales para ayudar al Ingeniero Proyectista y conseguir una razonable uniformidad en el diseño de estas obras. En ningún caso, el contenido del Volumen reemplaza el conocimiento de los principios básicos de la Ingeniería ni a un adecuado criterio profesional. Debe tenerse presente que la solución de problemas de drenaje superficial y subterráneo implica, a veces, problemas complejos que no podrán ser resueltos sólo con las recomendaciones de manual, debiendo ser abordados por especialistas. En estos casos, el contenido del capítulo, permitirá al Ingeniero proyectista, identificar el problema así como contar con la visión general necesaria para interactuar con los diversos ingenieros especialistas.

El Volumen se encuentra dividido en ocho Capítulos: Aspectos Generales, Hidrología, Drenaje Transversal, Drenaje de la Plataforma, Diseño de Canales en Régimen Uniforme,

Drenaje Subterráneo, Procedimientos y Técnicas de Hidráulica y Mecánica Fluvial, Defensas Fluviales y Criterios Ambientales. En cada una de estos Capítulos se entregan recomendaciones de diseño hidráulico de las obras, incluyendo los antecedentes técnicos necesarios para su aplicación y se especifican normas y criterios de proyecto.

2.8.1.3. Manual de Dispositivos de Control de Tránsito

La circulación vehicular y peatonal debe ser guiada y regulada a fin de que pueda llevarse a cabo en forma segura, fluida, ordenada y cómoda, siendo la señalización de tránsito un elemento fundamental para alcanzar tales objetivos. A través de la señalización se indica a conductores y peatones la forma correcta y segura de transitar por la vía, evitando riesgos y demoras innecesarias.

El propósito fundamental de este Volumen es lograr, mediante el fiel cumplimiento de las normas que contiene, una completa uniformidad de la señalización de tránsito en todo el territorio nacional. Para ello, además de entregar las especificaciones de cada elemento de señalización -ya sean señales verticales u horizontales, semáforos, balizas u otros- se consignan los criterios técnicos que permiten conocer cuáles, cuándo, dónde y cómo deben ser instalados.

Lo anterior facilita sustancialmente el conocimiento de dichas normas por parte de los usuarios de las vías y de los responsables de la construcción, instalación y mantención de elementos de señalización, disminuyendo así los riesgos de accidentes.

Con el propósito de asegurar una amplia cobertura de cada uno de los temas que dicen relación con la señalización de tránsito y, a la vez, facilitar el acceso y uso de la información que el Volumen contiene a los diversos grupos de usuarios del mismo, éste se ha estructurado como sigue.

- Señalización vertical
- Señalización de tránsito horizontal (demarcación)
- Semáforos
- Señalización en zonas de trabajo
- Auditorías de seguridad vial (asv)
- Facilidades para peatones y bicicletas

2.8.1.4. Manual de Ensayos de Suelos y Materiales

El presente volumen se refiere a los requisitos que deben cumplir los materiales por incorporar como parte de los diferentes elementos que integran los caminos, a los sistemas para diseñar mezclas de materiales para que cumplan con estos requisitos, a los procedimientos a que se debe ajustar a la extracción de muestras representativas, a los métodos que se deben seguir para ensayarlas en el laboratorio y a los métodos para determinar in situ las propiedades y características de los materiales y de las obras ejecutadas.

El contenido de este volumen está constituido por normas y procedimientos que no deben cambiarse bajo ninguna circunstancia. En especial los ensayos de laboratorios deben ajustarse exactamente a los procedimientos y criterios que se indican. Cualquier alteración de los mismos obliga a anular los resultados obtenidos, pues imposibilita su comparación con otras especificaciones y resultados obtenidos de otros ensayos.

El contenido de este manual es una recopilación de normas ya establecidas y desarrolladas por organismos especializados. En el título de cada método se incluye el nombre de la norma base.

2.9. Parámetros de diseño específicos

2.9.1. Diseño geométrico

2.9.1.1. El trazado

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

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

Estos ejes en planta y elevación, deben cumplir con una serie de normas y recomendaciones. Éstas pretenden conciliar la conveniencia económica de adaptarlos lo más posibles al terreno, con las exigencias técnicas requeridas para posibilitar desplazamientos seguros de un conjunto de vehículos a una cierta velocidad, definida genéricamente como velocidad de proyecto.

La elección y definición del conjunto de elementos de planta y elevación y de sus combinaciones, reguladas y normalizadas según una instrucción de diseño, constituye el trazado del eje y, por extensión, de la carretera (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 2.1).

Las principales consideraciones que controlan el diseño del alineamiento horizontal son:

- Categoría de la ruta
- Topografía del área
- Velocidad de proyecto
- V_{85} % para diseñar las curvas horizontales
- V^* para verificar visibilidad de frenado
- Coordinación con el alineamiento vertical
- Costo de construcción, operación y mantención

Todos estos elementos deben conjugarse de manera tal que el trazado resultante sea el más seguro y económico, en armonía con los contornos naturales y al mismo tiempo adecuado a la categoría, según la clasificación funcional para el diseño (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 2.17).

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 requeridas por el proyecto. En todo punto de la carretera debe existir por lo menos la visibilidad de frenado que corresponda a la V^* del tramo.

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

- Categoría del camino
- Topografía del área
- Trazado en horizontal
- Velocidad
- 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 (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 2.64).

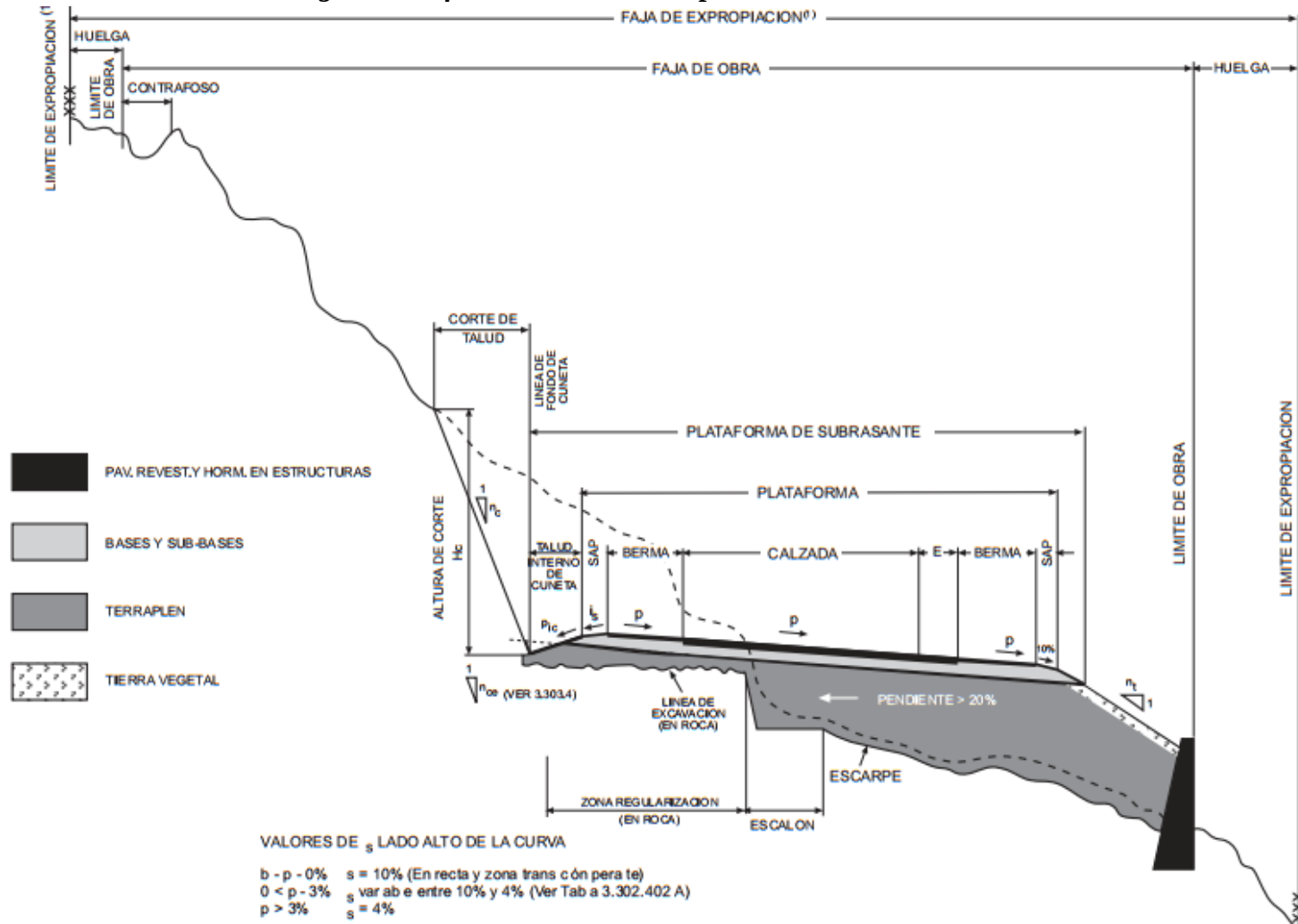
2.9.1.2. La sección transversal

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

Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la vía, ya que ella resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que ellas cumplan y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.

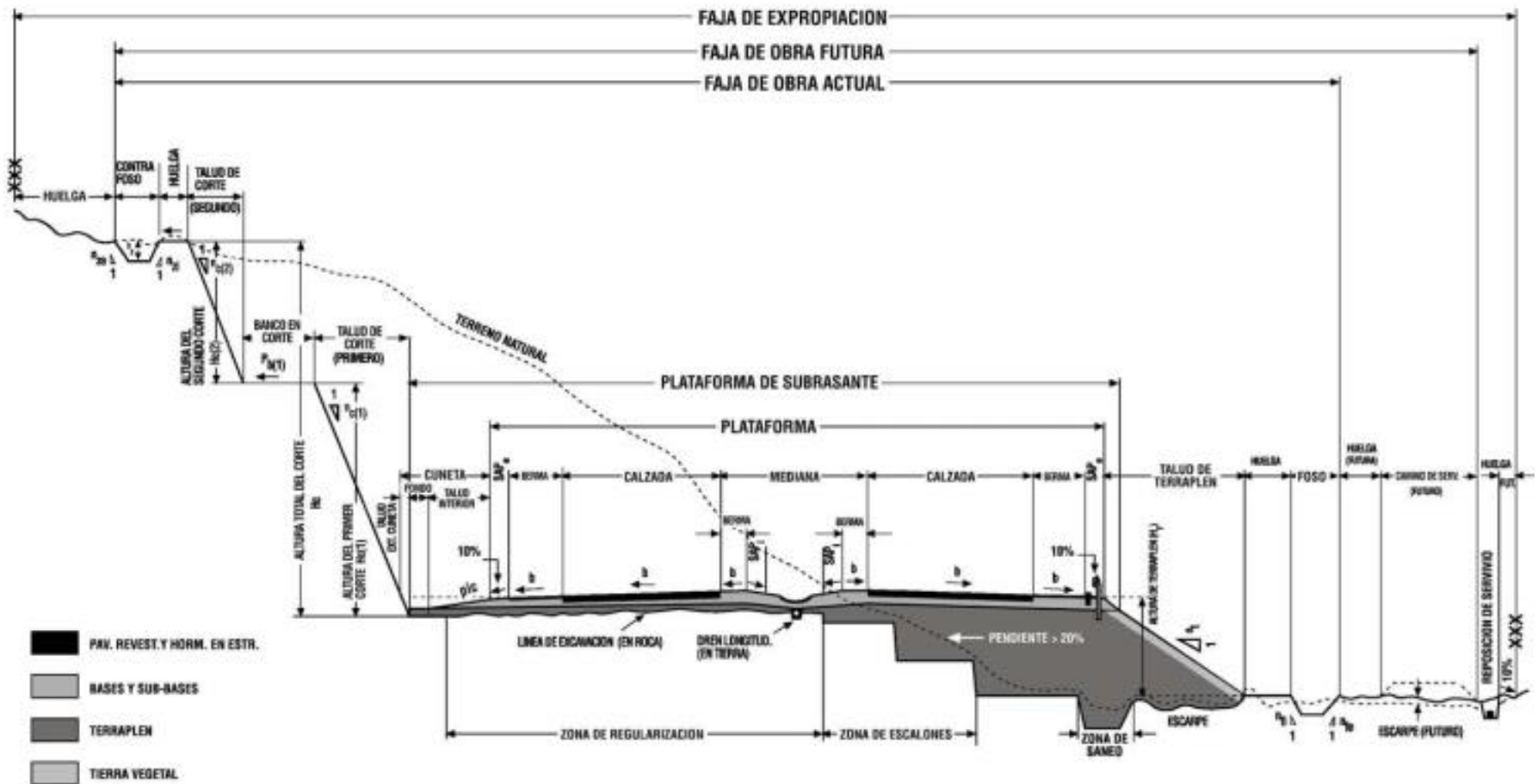
En la Figura N° 2 y Figura N°3 se ilustra la plataforma indicando los componentes de la sección

Figura 2 Perfil Transversal Descriptivo, Cazadas Única en Curva



Fuente: Manual de Diseño Geométrico, ABC.

Figura 3 Perfil Transversal Descriptivo, Calzadas Separadas en rectas



PENDIENTE TRANSVERSAL DEL SAP EXTERIOR EN CURVAS Y SAP INTERIOR: VER TABLA 3.302.402 A

Fuente: Manual de Diseño Geométrico, ABC.

Tabla 3 Cuadro Resumen Anchos de Plataforma en terraplén y de sus elementos a Nivel de Rasante

Numero de Calzadas		Velocidad Proyecto	Ancho Pistas "a" (m) (1)	Ancho bermas		Ancho Sap (3)		Ancho cantero central -M (m)			Ancho total de plataforma a nivel de rasante ATP na+2be*Se+M final		
				"b" Interior (m)	"be" exterior (m)	"Si" Interior	"Se" Exterior (m)	Inicial 4 pistas ampliable	Final 6 pistas	Final - Inicial 4 pistas			
				6 Pistas y 4 ampliable	4 Pistas	2 Pistas							
Calzadas unidireccionales	Autopistas	120	3,5	1,2	2,5	0,5-0,8	1,5	13,0	6,0	6,0	35	28	-
		100	3,5	1,0	2,5	0,5-0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	-
		80	3,5	1,0	2,5	0,5-0,8	0,8	11,0	4,0	4,0	31,6	24,5	-
	Primario y Autorruta	100	3,5	1,0	2,5	0,5-0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	-
		90	3,5	1,0	2,5	0,5-0,8	1,0	12,0	5,0	5,0	33	26	-
		80	3,5	1,0	2,0	0,5-0,8	0,5-0,8 (3)	10,0	3,0	3,0 (4)	29	22	-
	Colector	80	3,5	1,0	2,0	0,5-0,8	0,5-0,8 (3)	10,0	3,0	3,0 (4)	29	22	-
		70	3,5	0,6-0,7	1,5	0,5-0,8	0,5-0,8 (3)	9,0	2,0	2,0 (4)	27	20	-
		60	3,5	0,6-0,7	1,0	0,5-0,8	0,5-0,8 (3)	9,0	2,0	2,0 (4)	26	19	-
Calzadas bidireccionales	Primario	100-90	3,5	-	2,5	-	1,0	-	-	-	-	-	14,0
		80	3,5	-	2,0	-	0,5-0,8	-	-	-	-	-	12,0
	Colector	80	3,5	-	1,5	-	0,5-0,8	-	-	-	-	-	11,0
		70	3,5	-	1,0-1,5 (2)	-	0,5-0,8	-	-	-	-	-	10-11,0
	Local	60	3,0-3,5	-	0,5-1,0 (2)	-	0,5-0,8	-	-	-	-	-	8,0-10,0
		50	3,0-3,5	-	0,5-1,0 (2)	-	0,5	-	-	-	-	-	8,0-10,0
		40	3,0	-	0,0-0,5 (2)	-	0,5	-	-	-	-	-	7,0-8,0
		30	2,0-3,0	-	0,0-0,5 (2)	-	0,5	-	-	-	-	-	5,0-6,0

(1) Pistas de menos de 3,5 m debería ser autorizadas expresamente por la Administradora Boliviana de Carreteras

(2) El ancho de las Bermas de locales y de desarrollo se definirá en función del tránsito y dificultad del emplazamiento

(3) La tabla especifica anchos de SAP en terraplén caso sin berma de seguridad SAP=0,5, con berma SAP= 0,8 m

(4) Para el ancho final de carretera central de 3 y 2 m, SAP interiores se juntan presentando un ancho conjunto de 1 m y 0,6 a 0,8 m respectivamente, espacio que servirá de base para una berma rígida de hormigón con anchos en la base de Tipo F (0,56 m o 0,82 m)

(4) Ancho total de plataforma en terraplén con SAP mínimo = 0,5 m. Para corte cerrado o perfil Modo agregar ancho cunetas y corregir ancho del SAP exterior, Si cuneta es revestida Se=0,0 En unidireccional (bi) y "b" están comprendidos en el ancho del carter central

Fuente: Manual de Diseño Geométrico, ABC.

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

El ancho de la plataforma será entonces la suma de los anchos de sus elementos constitutivos, cuyas características se definen en esta sección. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 3.5)

La(s) calzada(s). 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. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 3.5)

Bombeos. En tramos rectos o en aquellos cuyo radio de curvatura permite el contraperalte, 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 período de retorno de 10 años, propia del área en que se emplaza el trazado. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 3.9)

Las bermas. Las bermas son las franjas que flanquean el pavimento de la(s) calzadas(s). 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. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 3.11)

Sobreanchos de la plataforma. 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. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 3.12)

2.9.1.3. La sección transversal de la infraestructura

Se incluirán en esta sección aquellos elementos de perfil transversal que delimitan las obras de tierra en su cuerpo principal: terraplenes y cortes, determinando la geometría de éstos y posteriormente sus volúmenes.

Estos elementos son: la plataforma de subrasante, los taludes de terraplén, las cunetas y los taludes de corte, las obras de contención de tierras y las obras que se realizan en el suelo de cimentación de la carretera o camino.

La competencia de esta sección se reduce a aquellos aspectos generales de dichos elementos que deben ser tomados en cuenta para la definición transversal de la vía en cuestión. Por ello, el proyectista debe acudir a bibliografías específicas para obtener criterios y valores relativos a sus dimensionamientos prácticos (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 3.25).

2.9.1.4. La sección transversal de la plataforma de subrasante

La plataforma de subrasantes es una superficie constituida por uno o más planos sensiblemente horizontales, que delimita el movimiento de tierras de la infraestructura y sobre la cual se apoya la capa de rodadura o las diversas capas que constituyen un pavimento superior. Además, incluye el espacio destinado a los elementos auxiliares como, bermas, cantero central, cunetas de drenaje, etc.

Si el perfil es de terraplén, la plataforma de subrasante queda configurada por los materiales de la última capa del terraplén y su ancho será el de la plataforma (calzadas, bermas, SAP y cantero central si lo hay), más el espacio requerido para el derrame de las tierras correspondientes a los materiales de subbase y base (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 3.25).

2.9.1.5. Alineamiento horizontal

La tendencia actual es evitar las rectas largas; pero al mismo tiempo trazar curvas sin un propósito definido no es recomendable. El alineamiento debe estar 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 objeto es la clotoide o espiral de transición. Sin embargo, se usarán alineamientos rectos en las

zonas planas en 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 lo menos posible las formas naturales.

El alineamiento curvilíneo provee al usuario con un paisaje cambiante que lo releva de la monotonía y al mismo tiempo le evita, en los paisajes nocturnos, el deslumbramiento provocado por los faros, en forma prolongada (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 3.44).

Alineamiento horizontal es la proyección del eje del camino sobre un plano horizontal. Los elementos que integran esta proyección son:

Las tangentes

- Las curvas, sean estas circulares o de transición

La proyección del eje en un tramo recto, define la tangente y el enlace de dos tangentes consecutivas de rumbos diferentes se efectúa por medio de una curva

El establecimiento del alineamiento horizontal depende de:

- La topografía
- Características hidrológicas del terreno
- Condiciones del drenaje
- Características técnicas de la subrasante
- Potencial de los materiales locales

(Buenas Tareas, 2013)

2.9.1.6. Tangentes

Son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. El punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se lo llama PI y al ángulo

de definición, formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se lo denomina “ α ” (alfa) (Buenas Tareas, 2013).

2.9.1.7. Longitudes máximas en recta

Se procurará evitar longitudes en recta superiores a:

$$L_r \text{ (m)} = 20 V_p \text{ (km/h)}$$

Donde:

- L_r = Largo en m de la alineación recta
- V_p = Velocidad de proyecto de la carretera

Se debe distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distinto sentido o curvas en “S” de aquellas correspondientes a curvas en el mismo sentido. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 2.19)

2.9.1.8. Curvas en S

En nuevos trazados deberá existir coincidencia entre el término de la clotoide de la primera curva y el inicio de la clotoide de la segunda curva.

En las recuperaciones o cambios de estándar, si lo no es posible, se podrán aceptar tramos rectos intermedios de una longitud no mayor que:

$$L_{rs} \text{ máx} = 0,08 \cdot (A_1 + A_2)$$

Donde:

L_{rs} = Longitud máxima en recta.

A_1 y A_2 = Los parámetros de las clotoides respectivas.

Tramos rectos intermedios de mayor longitud, deberán alcanzar o superar los mínimos que se señalan en la Tabla N° 4 los que responden a una mejor definición óptica del conjunto que ya no opera como una curva en S propiamente tal. y están dados por

$$L_{r\text{mín}} = 1,4 \cdot V_p$$

Donde:

$L_{r\text{mín}}$ = Longitud recta mínima

V_p = Velocidad de proyecto

Tabla 4 Lr min entre curvas de distinto sentido

V _p (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Lr	56	70	84	98	112	126	140	154	168

Fuente: Manual de Diseño Geométrico, ABC.

Tramo recto entre curvas en el mismo sentido

Por condiciones de guiado óptico es necesario evitar las rectas excesivamente cortas entre curvas en el mismo sentido, en especial en Terreno Llano y Ondulado Suave con velocidades de proyecto medias y altas. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 2.19)

Tabla 5 Lr min entre curvas del mismo sentido

V _p (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Ondulado	-	110/5	140/70	170/85	195/98	220/110	250/125	280/150	305/190	330/250
Montañoso	25	55/30	70/40	85/50	98/6	110/90	-	-	-	-

Fuente: Manual de Diseño Geométrico, ABC.

2.9.1.10. 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:

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

Donde:

R_{mín} : Radio Mínimo Absoluto (m)

V_p : Velocidad Proyecto (km/h)

e_{máx} : Peralte Máximo correspondiente a la Carretera o el Camino (m/m)

f : Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a V_p

Tabla 6 Radio mínimo absolutos en curvas horizontales

Caminos colectores – locales - desarrollo			
Vp	emax	f	Rmin
Km/h	(%)		(m)
30	7	0.215	25
40	7	0.198	50
50	7	0.182	80
60	7	0.165	120
70	7	0.149	180
80	7	0.132	250
Carreteras – autopistas – autorrutas – primarios			
80	8	0.122	250
90	8	1.114	33
100	8	0.105	425
110	8	0.095	540
120	8	0.087	700

Fuente: Manual de Diseño Geométrico, ABC.

2.9.1.11. Curvas circulares simples

Es un arco de circunferencia tangente a dos alineamientos rectos de la vía y se define por su radio, que es asignado por el diseñador como mejor convenga a la comodidad de los usuarios de la vía y a la economía de la construcción y el funcionamiento. (Villamar Pallo & Fienco Sanchez, 2012, pág. 33)

2.9.1.12. Curvas circulares compuestas

Son las curvas formadas por dos o más curvas circulares simples consecutivas, tangentes en un punto común y con sus centros al mismo lado de la tangente común. El punto de tangencia común se llama punto de curvatura compuesta.

Estas curvas son útiles para lograr que la vía se ajuste mejor al terreno, especialmente en terrenos montañosos donde pueden necesitarse dos, tres o más curvas simples de diferente radio. (Villamar Pallo & Fienco Sanchez, 2012, pág. 35)

2.9.1.13. Curvas circulares reversas

Existen cuando hay dos curvas circulares con un punto de tangencia común. En general están prohibidas por todas las clases de especificaciones y, por tanto, se deben evitar en carreteras pues no permiten manejar correctamente. (Villamar Pallo & Fienco Sanchez, 2012, pág. 35)

2.9.1.14. Curvas de transición

Al pasar de un alineamiento recto a una curva circular aparece la fuerza centrífuga que tiende a desviar el vehículo de la trayectoria que debe recorrer, esto representa una incomodidad y peligro. En realidad, lo que ocurre es que, para evitar, el conductor instintivamente, no sigue la traza correspondiente a su línea de circulación, sino otra distinta, la cual pasa paulatinamente del radio infinito a la alineación recta al finito de la curva circular. (Villamar Pallo & Fienco Sanchez, 2012, pág. 38)

2.9.1.15. Peralte

Cuando un vehículo recorre una trayectoria circular es empujado hacia afuera por efecto de la fuerza centrífuga “F”. Esta fuerza es contrarrestada por las fuerzas componentes del peso (P) del vehículo, debido al peralte, y por la fuerza de fricción desarrollada entre llantas y la calzada. (Villamar Pallo & Fienco Sanchez, 2012, pág. 41)

2.9.1.16. Velocidad de diseño

La AASHTO define a la velocidad de diseño como “una velocidad seleccionada para determinar las diferentes características de la vía en estudio”. Se elige en función de las condiciones físicas y topográficas del terreno, de la importancia del camino, los volúmenes del tránsito y uso de la tierra, tratando de que su valor sea el máximo compatible con la seguridad, eficiencia, desplazamiento y movilidad de los vehículos. Para el diseño de una vía, la topografía generalmente se clasifica en tres grupos: terreno llano, terreno ondulado y terreno montañoso.

Con esta velocidad se calculan los elementos geométricos de la vía para su alineamiento horizontal y vertical. (Villamar Pallo & Fienco Sanchez, 2012, pág. 23)

2.9.1.17. Distancia de seguridad entre dos vehículos

Si dos vehículos marchan a la misma velocidad, uno está detrás del otro, la mínima distancia que debe separarlos es aquella que cuando el de adelante aplica los frenos permita al de atrás detener su vehículo, sin que se produzca la colisión.

2.9.1.18. Distancia de visibilidad de parada

Es la distancia mínima que debe existir en toda la longitud del camino, necesaria para que un conductor que transita o cerca de la velocidad de diseño, vea un objeto en su trayectoria y pueda parar su vehículo antes de llegar a él y producir un colapso. Por lo tanto, es la mínima distancia de visibilidad que debe proporcionarse en cualquier punto de la carretera. (Villamar Pallo & Fienco Sanchez, 2012, pág. 27)

2.9.1.19. Distancia de velocidad de rebase entre dos vehículos

Es la distancia necesaria para que un vehículo que circula a velocidad de diseño rebase a otro que va a una velocidad menor sin que produzca la colisión con otro vehículo que viene en sentido contrario.

2.9.1.20. Alineamiento vertical

El perfil vertical de una carretera es tan importante como el alineamiento horizontal y debe estar en relación directa con la velocidad de diseño, con las curvas horizontales y con las distancias de visibilidad. En ningún caso se debe sacrificar el perfil vertical para obtener buenos alineamientos horizontales. (Villamar Pallo & Fienco Sanchez, 2012, pág. 45)

2.9.2. Factores que intervienen en el alineamiento vertical

2.9.2.1. Gradientes

El perfil vertical de una carretera es tan importante como el alineamiento horizontal y debe estar en relación directa con la velocidad de diseño, con las curvas horizontales y con las distancias de visibilidad. En ningún caso se debe sacrificar el perfil vertical para obtener buenos alineamientos horizontales. En la siguiente tabla se muestra los valores de diseño de las gradientes longitudinales. (Villamar Pallo & Fienco Sanchez, 2012)

2.9.2.2. Curvas verticales

Las curvas verticales se utilizan para empalmar dos tramos de pendientes constantes determinadas, con el fin de suavizar la transición de una pendiente a otra en el movimiento vertical de los vehículos. (Villamar Pallo & Fienco Sanchez, 2012, pág. 48)

2.9.2.3. Sección transversal típica

La sección transversal de una carretera está compuesta por la calzada, las bermas, las cunetas y los taludes laterales.

La calzada o superficie de rodamiento es aquella parte de la sección transversal destinada a la circulación de los vehículos constituida por una o más carriles para uno o dos sentidos.

Las bermas o espaldones, los cuales sirven de confinamiento lateral de la superficie de rodamiento y eventualmente se pueden utilizar para estacionamiento provisional.

Las cunetas son zanjas, generalmente de forma triangular, construidas paralelamente a la berma.

Los taludes son las superficies laterales inclinadas, comprendidos entre las cunetas y el terreno natural.

2.9.2.4. Derecho de vía o faja de afectación

El Decreto Supremo N° 25134 del 21 de agosto de 1998 define y regula el derecho de vía, tal como se describe a continuación.

A efectos de uso, defensa y explotación de las carreteras de la Red Fundamental, se establece que son propiedad del Estado los terrenos ocupados por las carreteras en general y en particular por las de la Red Fundamental, así como sus elementos funcionales.

Es elemento funcional de una carretera, toda zona pertenecientemente afectada a la conservación de la misma o a la explotación del servicio público vial, tales como las destinadas al descanso, estacionamiento, auxilio y atención médica de urgencia, pesaje, parada de autobuses, y otros fines auxiliares o complementarios. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 3.36)

2.9.2.5. Zona de afectación

Consiste en la franja de terreno a cada lado de la vía, incluida la berma, de (50) cincuenta metros, medida en horizontal y/o perpendicularmente a partir del eje de la carretera.

En esta zona, no podrán realizarse obras, ni se permitirán más usos que aquellos que sean compatibles con la seguridad vial, previa autorización escrita y expresa en cualquier caso

de la Administradora Boliviana de Carreteras de acuerdo al procedimiento establecido al efecto en el Reglamento.

La Administradora Boliviana de Carreteras podrá utilizar o autorizar la utilización de la zona de afectación por razones de interés General o cuando requiera mejorar el servicio en la carretera, o así lo establezca la Ley de Concesiones y su reglamento.

A objeto de evitar ocupación ilegal de la zona de afectación de las carreteras de la red fundamental, la Administradora Boliviana de Carreteras ejercerá control permanente de las áreas de derecho de vía en las carreteras y en caso de ocupación o utilización ilegal procederá a la demolición de obras y desocupación del área afectada de acuerdo a procedimiento previsto al efecto.

La línea para poder efectuar edificaciones ajenas a la carretera es fuera de los 50 (cincuenta) metros a cada lado del eje. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007, pág. 3.36)

2.9.2.6. Expropiaciones y Servidumbres

En caso de que en la zona del derecho de vía existan propietarios cuya data sea anterior al diseño de la carretera, el estado mediante el trámite expropiatorio liberará el derecho de vía para la ejecución de los trabajos de mejoramiento o construcción, a cuyo efecto asignará los recursos suficientes.

Si se establece técnicamente que no es necesaria la expropiación de determinadas áreas, sino que estas sean sometidas a servidumbre, para que se haga efectiva dicha servidumbre, se procesará el trámite correspondiente. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol I), 2007)

2.9.3. *Diseño estructural*

2.9.3.1. Pavimentos con tratamiento Superficial

Los tratamientos superficiales dobles o triples pueden ser utilizados como capas de revestimiento en carreteras de tráfico leve a medio. Se construyen mediante la aplicación de capas de ligante bituminoso sobre las cuales se conforman capas de materiales pétreos compactados, cuya granulometría debe ser rigurosamente controlada para satisfacer las exigencias de las especificaciones técnicas adoptadas en el proyecto.

El deterioro del revestimiento se produce principalmente por la fisuración debida a la fatiga y/o al desgaste. Los tratamientos superficiales simples que deben ser utilizados apenas para accesos donde el tráfico de proyecto es del orden del 1% del tráfico de proyecto de las fajas de rodadura, o para la protección provisoria de bases granulares hasta que el revestimiento definitivo sea construido

2.9.3.2. Módulo de resiliencia

Para el diseño de pavimentos flexibles deben utilizarse valores medios resultantes de los ensayos de laboratorio, las diferencias que se puedan presentar están consideradas en el nivel de confiabilidad R.

Durante el año se presentan variaciones en el contenido de humedad de la subrasante, las cuales producen alteraciones en la resistencia del suelo, para evaluar esta situación es necesario establecer los cambios que produce la humedad en el módulo resiliente.

Con este fin se obtienen módulos resilientes para diferentes contenidos de humedad que simulen las condiciones que se presentan en el transcurso del año, en base a los resultados se divide el año en periodos en los cuales el MR es constante.

Con los resultados de los daños relativos se obtiene el valor promedio anual. El módulo de resiliencia que corresponda al promedio es el valor que se debe utilizar para el diseño. Si no se tiene la posibilidad de obtener esta información se puede estimar el valor del MR en función del CBR.

2.9.3.3. Periodo de diseño

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

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

2.9.3.4. Índice de serviciabilidad

Se define el índice de serviciabilidad como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento.

2.9.3.5. Pérdida o disminución del índice de serviciabilidad

Los valores anteriormente descritos nos permiten determinar la disminución del índice de servicio, que representa una pérdida gradual de la calidad de servicio de la carretera, originada por el deterioro del pavimento.

2.9.3.6. Análisis de tráfico

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

2.9.3.7. Tránsito medio diario anual

El TMDA representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios de tránsito aforados durante un año, en forma diferenciada para cada tipo de vehículo.

Clasificación de los vehículos

- Automóviles y camionetas
- Buses
- Camiones de dos ejes
- Camiones de más de dos ejes
- Remolques
- Semiremolques

2.9.3.8. Tasa de crecimiento

Representa el crecimiento promedio anual del TMDA. Generalmente las tasas de crecimiento son diferentes para cada tipo de vehículo.

2.9.3.9. Proyección del tránsito

El tránsito puede proyectarse en el tiempo en forma aritmética con un crecimiento constante o exponencial mediante incrementos anuales.

2.9.3.10. Distribución direccional

A menos que existan consideraciones especiales, se considera una distribución del 50% del tránsito para cada dirección. En algunos casos puede variar de 0,3 a 0,7 dependiendo de la dirección que acumula mayor porcentaje de vehículos cargados.

2.9.3.11. Factor de distribución por carril

En una carretera de dos carriles, uno en cada dirección, el carril de diseño es uno de ellos, por lo tanto, el factor de distribución por carril es 100%. Para autopistas multicarriles el carril de diseño es el carril exterior y el factor de distribución depende del número de carriles en cada dirección que tenga la autopista.

2.9.3.12. Tránsito equivalente

Los resultados obtenidos por la AASHTO en sus tramos de prueba mostraron que el daño que producen distintas configuraciones de ejes y cargas, puede representarse por un número equivalente de pasadas de un eje simple patrón de rueda doble de 18 kips (80 kN u 8,2 Ton.) que producirá un daño similar a toda la composición del tráfico.

2.9.3.13. Factores equivalentes de carga (LEF)

La conversión del tráfico a un número de ESAL's de 18 kips (Equivalent Single Axis Loads) se realiza utilizando factores equivalentes de carga LEFs (Load Equivalent Factor). Estos factores fueron determinados por la AASHTO en sus tramos de prueba, donde pavimentos similares se sometieron a diferentes configuraciones de ejes y cargas, para analizar el daño producido y la relación existente entre estas configuraciones y cargas a través del daño que producen.

2.9.3.14. Nivel de confianza y desviación estándar

El nivel de confianza es uno de los parámetros importantes introducidos por la AASHTO al diseño de pavimentos, porque establece un criterio que está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las solicitaciones exteriores. La confiabilidad se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto, bajo las solicitaciones de carga e intemperismo, o la probabilidad de que los problemas de deformación y fallas estén por debajo de los niveles permisibles.

2.9.3.15. Determinación del número estructural “SN”

El método está basado en el cálculo del número estructural “SN” sobre la capa subrasante o cuerpo del terraplén. Para esto se dispone de la ecuación siguiente:

$$\text{Log}W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \frac{(\Delta PSI)}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \text{Log}M_R - 8.07$$

Donde:

W18 = Tráfico equivalente o ESAL's.

ZR = Factor de desviación normal para un nivel de confiabilidad R

So = Desviación estándar

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado

MR = Módulo de resiliencia efectivo de la subrasante

SN = Número estructural

2.9.3.16. Determinación de espesores por capas

La estructura del pavimento flexible está formada por un sistema de varias capas, por lo cual debe dimensionarse cada una de ellas considerando sus características propias.

Una vez que el diseñador ha obtenido el número estructural SN para la sección estructural del pavimento, se requiere determinar una sección multicapa, que en conjunto provea una suficiente capacidad de soporte, equivalente al número estructural de diseño. Para este fin se utiliza la siguiente ecuación que permite obtener los espesores de la capa de rodamiento o carpeta, de la capa base y de la sub-base:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 + a_3 * D_3$$

Donde:

a₁, a₂ y a₃= Coeficientes estructurales de capa de carpeta, base y sub-base respectivamente.

D₁, D₂ y D₃= Espesor de la carpeta, base y sub-base respectivamente, en pulgadas.

m₁, m₂ y m₃= Coeficientes de drenaje para base y sub-base, respectivamente.

2.9.4. Drenaje

2.9.4.1. Definición de drenaje

Las obras de drenaje son los elementos estructurales que eliminan la inaccesibilidad de un camino, provocada por el agua o la 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 dirija 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 escurrideros, tomando en cuenta la pendiente, ya que de ésta dependerá el tipo de obra.

Área por drenar. - Es la superficie que limitada por dos o más líneas del parteaguas y el eje del camino, da el área tributaria del escurridero 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 elección de tipo de obra de drenaje, debe tomarse en cuenta:

- Área hidráulica necesaria
- Pendiente de la obra (las pendientes serán $>2\%$ y $<1.5\%$ en la superficie del camino)
- Altura mínima y máxima de terraplenes o rellenos
- Materiales de construcción
- Capacidad de carga del terreno
- No deben trabajar a presión

Al cumplir con estas normas las obras de drenaje trabajarán de una manera eficiente y duradera proporcionando las mejores condiciones para los usuarios de los caminos y carreteras. (Damián Hernández, Martínez soto, & Aguirre Pérez, 2000)

2.9.4.2. Clasificación y tipos de drenaje

Para llevar a cabo lo anteriormente mencionado, se utilizan diferentes 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:

- a) Cunetas
- b) Contracunetas
- c) Bombeo
- d) Vado
- e) Tubos y tubos perforados
- f) Puentes y Alcantarillas
- g) Bordillos
- h) Vegetación

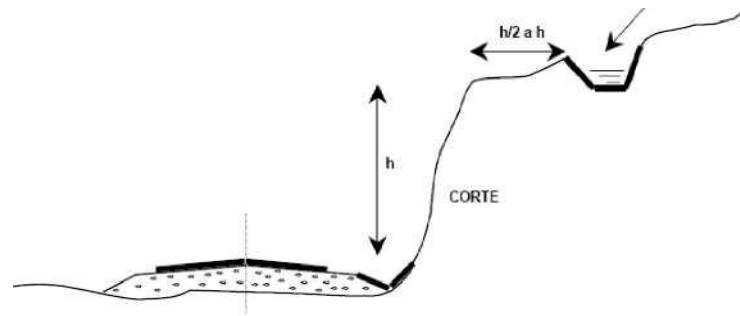
Cunetas

Las cunetas son zanjas que se hacen en uno o ambos lados del camino, con el propósito de conducir las aguas provenientes de la corona y lugares adyacentes hacia un lugar determinado, donde no provoque daños, su diseño se basa en los principios de los canales abiertos. Estas obras de drenaje se pueden presentar en dos tipos: en cortes en balcón donde hay cuneta en un solo lado y en cortes en cajón, donde hay cuneta en ambos lados. (Damián Hernández, Martínez soto, & Aguirre Pérez, 2000)

Contracunetas

Se denominan contracunetas, a los canales excavados en el terreno natural o formados con pequeños bordos, que se localizan aguas arriba de los taludes de los cortes, con la finalidad de interceptar el agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas, para evitar la erosión del talud y el congestionamiento de las cunetas y la corona de la vía terrestre por el agua y su material de arrastre (Figura 3).

Figura 4 Ubicación de una contra cuneta en un camino

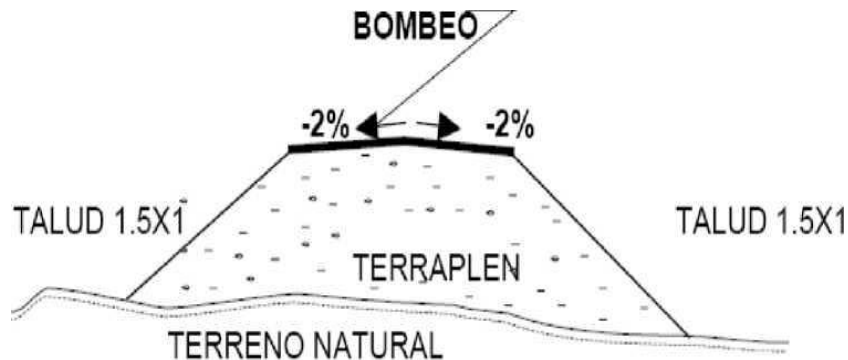


Fuente: impacto ambiental de proyectos carreteros. efectos por la construcción del drenaje y subdrenaje

Bombeo

Se denomina bombeo a la pendiente transversal que se da en las carreteras para permitir que el agua que directamente cae sobre ellas escurra hacia sus dos hombros. (Figuras 4 y 5) (Damián Hernández, Martínez soto, & Aguirre Pérez, 2000)

Figura 5 Bombeo en tangente



Fuente: impacto ambiental de proyectos carreteros. efectos por la construcción del drenaje y subdrenaje

Figura 6 Bombeo en curva

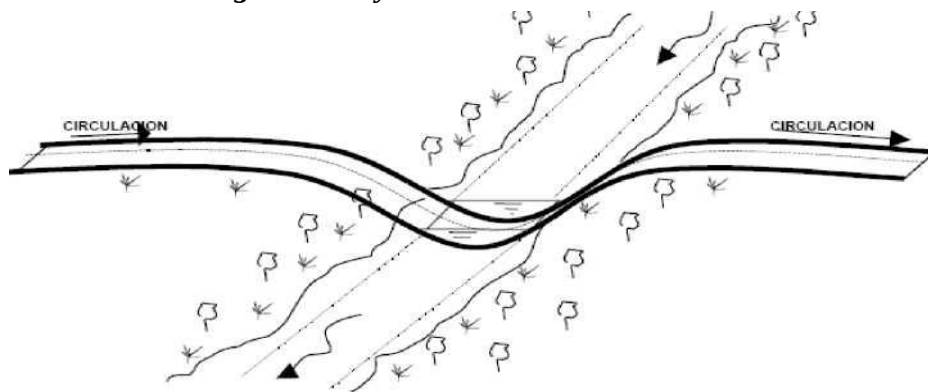


Fuente: impacto ambiental de proyectos carreteros. efectos por la construcción del drenaje y subdrenaje

Vado

Este tipo de solución como obra de drenaje es poco común, es una obra de paso para el agua, dejando que ésta continúe su curso de manera natural sin afectar su nivel de escurrimiento, es decir, la carretera pasará a nivel del agua respetando su condición actual. (Figura 6). (Damián Hernández, Martínez soto, & Aguirre Pérez, 2000)

Figura 7 Proyecto de vado en un camino



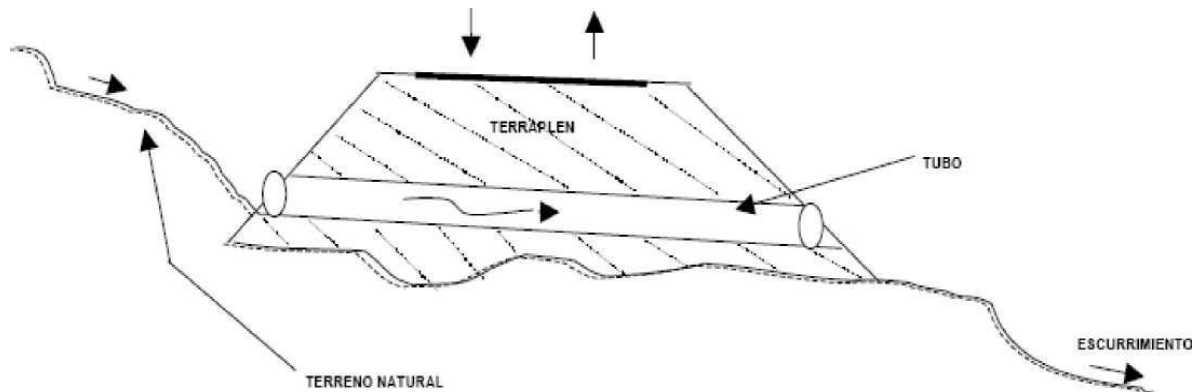
Fuente: impacto ambiental de proyectos carreteros. efectos por la construcción del drenaje y subdrenaje

Tubos y tubos perforados

Esta obra complementaria es muy parecida a una alcantarilla, son elementos de solución para el drenaje que van implementados bajo las terracerías de la carretera que se va construir. Existen varios tipos de tubo como el de lámina corrugada, tubos de sección circular con doble capa de cemento asfáltico, tubos de concreto y tubos desarmables

intercambiables. El tubo va colocado transversalmente al camino y permite la continuidad del caudal existente, si está correctamente calculado. El diámetro del tubo depende del gasto que se genere por el escurrimiento natural, el que puede variar entre 0.45 m y 1.50 m de diámetro regularmente. (Figura 7). (Damián Hernández, Martínez soto, & Aguirre Pérez, 2000)

Figura 8 Proyecto de tubo en terraplén

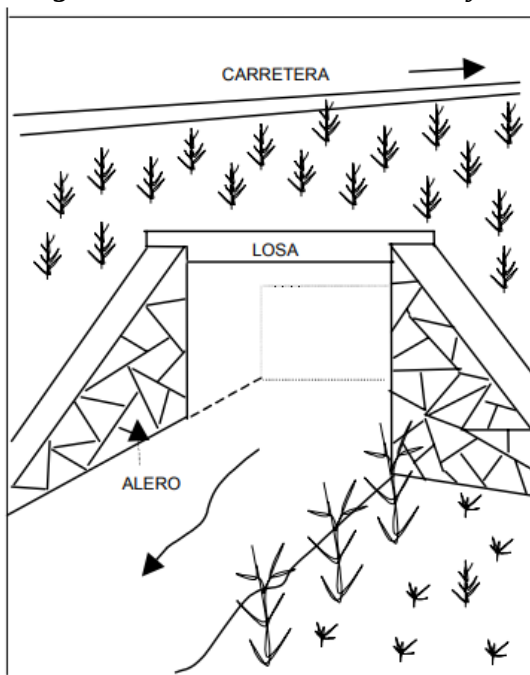


Fuente: impacto ambiental de proyectos carreteros. efectos por la construcción del drenaje y subdrenaje

Puentes o alcantarillas

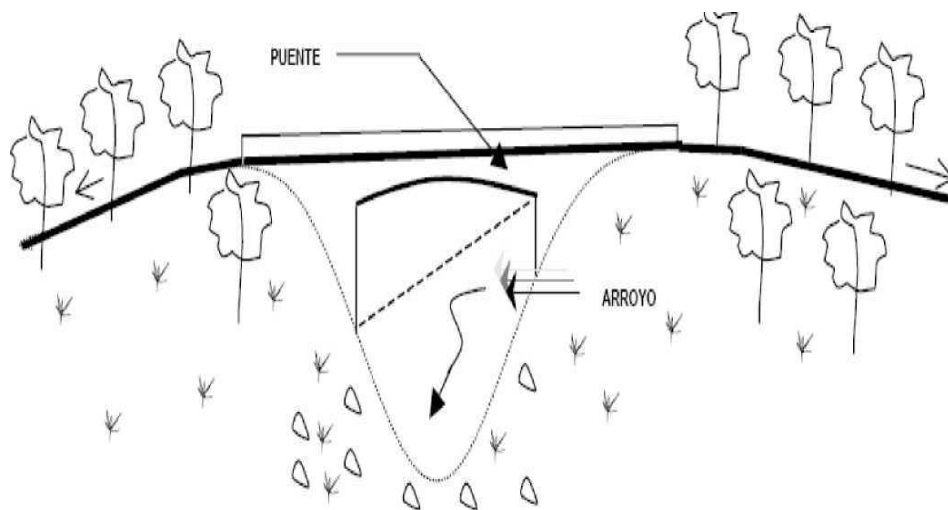
Las estructuras de drenaje más espectaculares en una vía terrestre son los puentes y las alcantarillas, responsables principales del drenaje transversal; es decir, del paso de grandes cantidades de agua. (Damián Hernández, Martínez soto, & Aguirre Pérez, 2000)

Figura 9 Puente librando un arroyo



Fuente: impacto ambiental de proyectos carreteros. efectos por la construcción del drenaje y subdrenaje

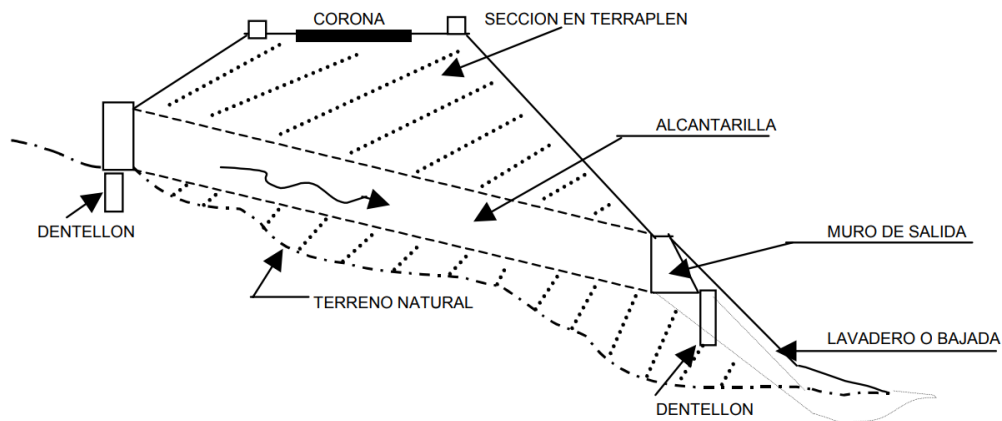
Figura 10 Alcantarilla tipo



Fuente: impacto ambiental de proyectos carreteros. efectos por la construcción del drenaje y subdrenaje

Estas obras se presentan regularmente en un terraplén y también en un corte. Son obras necesarias por el claro que se tiene que librar, que en muchos casos son arroyos o ríos que tienen un caudal importante, normalmente un puente tiene una longitud mayor a 6.0 m y se construye de concreto en la mayoría de los casos, aunque también los construyen de estructura de acero.

Figura 11 Perfil de una Alcantarilla. Colocación en Terraplén



Fuente: impacto ambiental de proyectos carreteros. efectos por la construcción del drenaje y subdrenaje

Las alcantarillas existen normalmente en la construcción de un camino entre 3 ó 4 por Km significando en la inversión total de un 15 a 20% del costo total de obra, sus dimensiones son menores a 6.0 m y la construcción varía en forma y materiales.

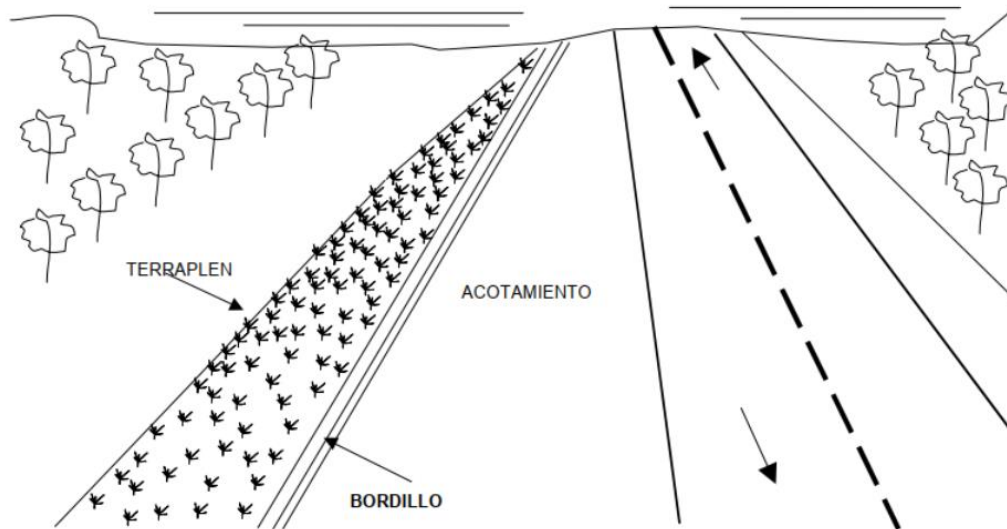
Bordillos

Son estructuras que se colocan en el lado exterior del acotamiento en las secciones en tangente, en el borde opuesto al corte en las secciones en balcón o en la parte interior de las secciones de terraplén en curva. Son pequeños bordos que forman una barrera para conducir el agua hacia los lavaderos y bajadas, evitando erosiones en los taludes y saturación de éstos por el agua que cae sobre la corona del camino. Generalmente los bordillos son de sección trapecial, de concreto asfáltico o hidráulico. (Damián Hernández, Martínez soto, & Aguirre Pérez, 2000)

Vegetación

Una de las más efectivas protecciones de los taludes de un corte o un terraplén o del terreno natural contra la acción erosiva del agua superficial es la plantación de especies vegetales; éstas retardan el escurrimiento, disminuyendo la velocidad del agua y contribuyen a fomentar una condición de equilibrio en los suelos en cuanto contenido de agua. (Damián Hernández, Martínez soto, & Aguirre Pérez, 2000)

Figura 12 Acotamiento, bordillo y terraplén bien vegetados



Fuente: impacto ambiental de proyectos carreteros. efectos por la construcción del drenaje y subdrenaje

2.9.5. Señalización

2.9.5.1. Señalización vertical

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

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

Señales preventivas: Las señales de advertencia de peligro (preventivas) tienen como propósito advertir a los usuarios la existencia y naturaleza de riesgos y/o

situaciones imprevistas presentes en la vía o en sus zonas adyacentes, ya sea en forma permanente o temporal.

Señales reglamentarias: Tienen por finalidad notificar a los usuarios de las vías las prioridades en el uso de las mismas, así como las prohibiciones, restricciones y autorizaciones existentes. Su trasgresión constituye infracción a las normas del tránsito.

Señales informativas: Las señales informativas tienen como propósito orientar y guiar a los usuarios del sistema vial, entregándoles información necesaria para que puedan llegar a sus destinos de la forma más segura, simple y directa posible.

Tableros: Los tableros de las señales verticales serán elaborados en lámina de acero galvanizado, aluminio o poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo con las especificaciones fijadas en el presente Manual.

Estructuras de soporte: Tan importante como la ubicación de una señal vertical, es la sustentación de la placa, la que debe mantenerse estable para diferentes condiciones climáticas, además de acciones vandálicas que pudieren modificar su correcta posición. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol III), 2007)

2.9.5.2. Señalización horizontal

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

La demarcación mediante líneas de pista, de eje y de borde otorga un mensaje continuo al usuario, definiendo inequívocamente el espacio por el cual debe circular, otorgando al conductor la seguridad de estar transitando por el espacio destinado para tal efecto. Por el contrario, la ausencia de demarcación, genera comportamientos erráticos e inesperados en los conductores.

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

Líneas longitudinales: Las líneas longitudinales se emplean para delimitar pistas y calzadas; para indicar zonas con y sin prohibición de adelantar; zonas con prohibición de estacionar; y, para delimitar pistas de uso exclusivo de

determinados tipos de vehículos, por ejemplo, pistas exclusivas de bicicletas o buses.

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

Símbolos y leyendas: Los símbolos y leyendas se emplean para indicar al conductor maniobras permitidas, regular la circulación y advertir sobre peligros. Se incluyen en este tipo de demarcación flechas, señales como ceda el paso y pare y leyendas como lento, entre otras.

Otras demarcaciones: Corresponden a demarcaciones como achurados, demarcaciones de tránsito divergente y convergente, distancia, etc. En este caso no es posible agruparlas por sus características geométricas, dado a que ninguna de sus formas o líneas predomina sobre las otras. (Administradora Boliviana de Carreteras (vol III), 2007)

2.9.6. Software

2.9.6.1. AutoCAD Civil 3D

Con respecto al diseño de caminos asistido por computadora tendríamos que decir que, lamentablemente, la mayoría de los ingenieros (principalmente los que mantienen un empleo en instituciones gubernamentales, se encuentran con un índice bajo de actualización; comparados con los ingenieros que se desempeñan en la iniciativa privada, donde se exigen niveles de competitividad y rendimiento altos; debido a la saturación en el mercado de ingenieros prestadores de servicios que se mantienen al día en su preparación. Normalmente, en otros tiempos, hacer el proyecto geométrico de un camino nos llevaría meses dependiendo de las circunstancias, ya que todos los cálculos y dibujos se tenían que hacer mediante métodos obsoletos; por ejemplo el tener que hacer plantillas de plástico para utilizarlas en el trazo de las curvas horizontales y verticales o dibujar las secciones en papel milimétrico manualmente con regla y obtener sus volúmenes de corte y terraplén midiendo cada metro cuadrado, así como calcular y transcribir todo a nuestra memoria de cálculo. Con el paso de los años se han desarrollado diferentes herramientas para facilitar el trabajo del diseño en ingeniería, en específico la proliferación de herramientas CAD (Por sus siglas en inglés, computer, aided design) proveen al ingeniero

proyectista de instrumentos automatizados para el diseño geométrico de un camino, tales que es posible concentrar la capacidad técnica y la creatividad en los aspectos principales de la geometría del camino, tales, que es posible concentrar la capacidad técnica y la creatividad en los aspectos principales de la geometría del camino, poniendo menor atención al cálculo mecánico de longitudes, cambios de pendiente, volúmenes de corte o terraplén., etc. Las aplicaciones CAD para computadora sirven, como sus siglas lo indican (computer aid design en inglés, diseño asistido por computadora) para llevar a cabo diseños relacionados con la geometría (dibujos) de manera rápida, precisa y automatizada. Es posible realizar, prácticamente cualquier tarea relacionada con el dibujo; modificando cada diseño de manera rápida, de manera que se pueden tener varias opciones del mismo con el objeto de decidirse por el mejor de ellos.

Para un camino el diseño geométrico es una de las partes más importantes dentro del proyecto de construcción o mejoramiento de una vía, pues ahí se determina su configuración tridimensional, es decir, la ubicación y la forma geométrica definida para los elementos de la carretera; de manera que ésta sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente, es decir que su construcción sea sostenible y los beneficios esperados sean mucho mayores que los costos. A diferencia de los procedimientos y herramientas tradicionales para el diseño geométrico de caminos, con este tipo de programas de cómputo se modela la geometría del terreno y del camino proyectado en tres dimensiones (3D), de manera que se puede obtener información del proyecto de cualquier tipo (relacionada con la geometría) por ejemplo: longitudes, áreas, volúmenes, grados de curvatura, pendientes, elevaciones de terreno, elevaciones de rasante, etc.; que permiten al ingeniero tener un control más inmediato de las repercusiones de las decisiones tomadas al momento de diseñar. Además, la herramienta usada, está prevista con los parámetros de diseño reglamentarios de la secretaría de comunicaciones y transportes (SCT), con lo cual el proyectista sabe inmediatamente si sus propuestas de diseño se encuentran dentro del marco de la reglamentación vigente en nuestro país, en cualquiera de los aspectos del proyecto geométrico de caminos. Más aún en este caso, se proveerá a los ingenieros que pretenden actualizarse en el uso de herramientas CAD.

CAPÍTULO III INGENIERIA DEL PROYECTO

3.1. Métodos y Técnicas Empleadas

3.1.1. Métodos

En la mayoría de las investigaciones el conocimiento práctico y la teoría se utilizan conjuntamente de los cuales se emplearon los siguientes:

3.1.1.1. Método Empírico.

Consiste en observar, medir y experimentar la realidad que queremos conocer en esta ocasión relacionado al camino carretero tramo Cruce Monte - Hornos.

- **La observación científica** es el proceso más básico y fundamental de una investigación. Consiste en el examen directo de una realidad (una cosa, una conducta, etc.) tal y como se presenta de manera espontánea y tomar datos y analizarla. Para observar necesitamos tener criterios de estudio a los que llamaremos categorías, para intentar comprender y para poder describir lo que estamos viendo.
- **La medición** consiste en describir con números alguna cualidad o cantidad del objeto o conducta observados: estas magnitudes numéricas deben ser comparables con otras fuentes de información.
- **La experimentación** el investigador interviene sobre el objeto de estudio realizando modificaciones o creando condiciones para conocer su naturaleza del terreno natural del tramo existente.

3.1.1.2. Método Teórico.

Sirve para descubrir cualidades y relaciones en el objeto de estudio que no se pueden percibir por los sentidos.

- **El análisis**, distinguir y separar las partes del todo para conocer su composición. El cual nos sirvió para la validación de los resultados acorde a las normas de la ABC.
- **La síntesis**, conocer el todo a partir de sus partes.

3.1.2. Técnicas

Para efectuar el proyecto se realizaron las siguientes actividades:

- **Recopilación y evaluación de datos e información existentes.** - La recopilación de datos e información existente se inició con la visita de reconocimiento de campo que permitirá conocer la comunidad beneficiaría y obtener datos iniciales importantes acerca de ella, esta visita también nos permitirá el reconocimiento de la topografía del terreno e ir evaluando posibles alternativas de trazo.
- **Topografía.** - El levantamiento topográfico se 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, clasificación de las muestras, compactación y CBR. Utilizando el método AASHTO para la clasificación de los suelos según las normativas vigentes de la ABC.
- **Hidrología.** - Para el análisis y cálculo de las lluvias máximas diarias, para diferentes periodos de retorno, se sigue la siguiente metodología.
Al tratarse de lluvias máximas que son datos extremos que se ajustan mejor a la distribución Gumbell, entonces se usó directamente el método de Gumbell modificado para obtener la intensidad de la zona de proyecto.
- **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 Civil 3D.
- **Diseño del paquete estructural.** - El diseño del pavimento se realizó adoptando la norma americana AASHTO, donde se plantean alternativas como tratamiento superficial y pavimento flexible. Además, se diseñan los espesores de la capa sub base, capa base y capa de rodadura.

- **Diseño de estructuras obra de arte menor.** - El diseño de las obras de arte menor se realizan tomando en cuenta la norma ABC (Administradora Boliviana de Carreteras); se diseñarán alcantarillas, según requiere el diseño. Además, se utiliza el programa H Canales para realizar el dimensionamiento de cunetas.
- **Cómputos métricos.** - Se realizan los cómputos métricos para determinar las cantidades de los materiales y los volúmenes de obra.

Cabe recalcar que los puntos anteriormente mencionados se realizaron en función a las normativas vigentes de la Administración Boliviana de Caminos.

3.2. Ubicación

3.2.1. Ubicación física del Proyecto

El área de estudio se encuentra en

- País: Bolivia
- Departamento: Tarija
- Provincia: Cercado
- Municipio: Tarija
- Comunidad: Yesera Sud
- Distrito 19 – Yesera

Figura 14 Proyecto en el contexto Nacional



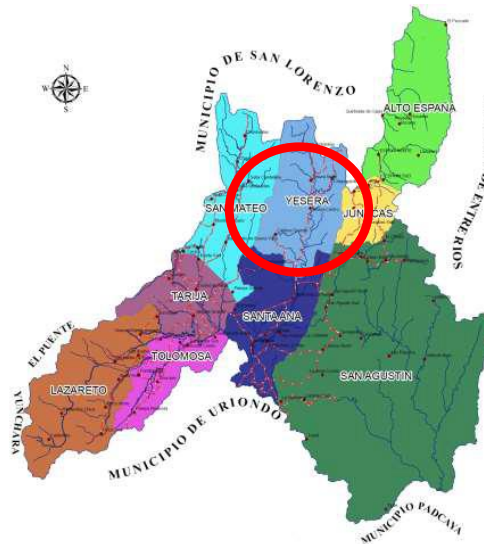
Fuente: GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL
DE TARIJA
SUBALCALDIA DE LA PROVINCIA
CERCADO
Unidad de Infraestructura y Servicios Rurales

Figura 13 Proyecto en el contexto Departamental



Fuente: GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL
DE TARIJA
SUBALCALDIA DE LA PROVINCIA
CERCADO
Unidad de Infraestructura y Servicios Rurales

Figura 15 Proyecto en el contexto Municipal



Fuente: GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE TARIJASUBALCALDIA DE LA PROVINCIA CERCADO Unidad de Infraestructura y Servicios Rurales

3.2.2. Ubicación Geográfica del Proyecto

Geográficamente el proyecto inicia en la Zona de Horno con coordenadas Este 338299.72 y norte 7627483.16 y culmina en zona Montes con coordenadas Este 341315.25 y Oeste 7627173.59

Figura 16 Imagen Satelital de la Zona del Proyecto



Fuente: Google Earth Pro

3.3. Características físicas del área de influencia del Proyecto

3.3.1. Clima

El clima en la zona tiene características de semiárido, en las zonas altas de la cuenca la vegetación es dispersa y de poca altura, en las zonas medias y bajas la vegetación es más abundante teniendo características de valle, con árboles de buen tamaño y vegetación variada (Ministerio de Medio Ambiente y Agua Universidad Autónoma Juan Misael Saracho Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, 2018).

3.3.2. Temperatura

En esta zona las temperaturas más altas se presentan en el periodo de octubre a marzo que corresponde a la estación del verano. Las temperaturas más bajas se presentan en los meses de mayo y julio que corresponden al invierno. Entre las temperaturas medias máximas y mínimas existe una variación promedio de 14 °.

La temperatura media anual. – La temperatura es de 14,8 °C < a 20 °C; esto nos indica que estamos en un clima templado.

La temperatura del verano. - En diciembre se presentan las más altas temperaturas: 17.49 °C de temperatura media; esta supera los 10 °C, pero es inferior a 20 °C, esto nos indica que se trata de un verano templado.

La temperatura del invierno. - En los meses de mayo, junio, julio y agosto las temperaturas son menores a 6 °C; esto indica que se tiene un invierno frío (Ministerio de Medio Ambiente y Agua Universidad Autónoma Juan Misael Saracho Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, 2018).

3.3.3. Viento

Se presenta vientos débiles a moderados de dirección variable de origen local, el régimen normal de vientos en la provincia Cercado, que corresponde en gran parte al Valle central de Tarija, está determinado por el ingreso de masas de aire denso a través de la fractura geológica de la Angostura, razón por la cual, la intensidad, así como la dirección predominante se modifica al distribuirse tanto hacia el norte como al sur, de este punto de referencia.

Este aspecto hace que el impacto directo del viento inicialmente se manifieste en el sector muy bien denominado de la ventolera, en el que la dirección predominante es al sureste, dirección que se conserva con muy poca variación, cuando el viento avanza hacia el norte; sin embargo, cuando se extiende hacia el sur la dirección del viento cambia hacia noreste, principalmente en la cuenca del río Camacho o sea la misma orientación que tiene esta cuenca.

En la región de la Ventolera los vientos alcanzan en el mes de agosto y septiembre de 25 metros por segundo, cuya intensidad varía, de julio a noviembre, alcanzando solo hasta 8 m/s.

Respecto a las velocidades promedio del área de estudio, alcanza 6,3 m/s con dirección predominante de Sudeste (Cox Hoyos, 2016).

3.3.4. Humedad

La humedad relativa califica de moderada, con un promedio de 62 por ciento, sobrepasando el 60 por ciento durante los meses de diciembre a abril. Una de las características interesantes con respecto a la humedad es la presencia de masas de aire húmedo y frío en algunos días de la estación de invierno que acompañados de vientos, dan origen a una sensación térmica diferente a la observada en los termómetros.

La humedad en los piedemonte y llanura de la parte sur en la cuenca Tolomosa son apropiados para ciertos cultivos agrícolas, regulando la evaporación del suelo y no sufran de déficit hídrico la producción. En contraste con la humedad relativa baja por la subcuenca Santa Ana y el Monte, donde los cultivos agrícolas requieren de un riego complementario o suplementario para llegar a rendimientos adecuados (Cox Hoyos, 2016).

3.4. Características generales del área del proyecto.

3.4.1. Producción Agrícola.

El subsistema de producción agrícola de las zonas Monte y Hornos se caracteriza por la diversidad de especies que intervienen, predominando: La papa, Arveja y el maíz, en función de las condiciones edafoclimáticas de cada uno de sus pisos ecológicos. Su agricultura se ha constituido en la producción central de la población, pues permite su seguridad alimentaria. Con productos agrícolas como: papa, arveja, maíz, trigo y cebada.

La agricultura está arraigada a los cultivos tradicionales, con alguna incorporación de cultivos alternativos, con una priorización del autoconsumo y con los excedentes para la comercialización. Existe una carencia de capital económico, asistencia técnica y capacitación (Ministerio de Medio Ambiente y Agua Universidad Autónoma Juan Misael Saracho Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, 2018).

3.4.2. *Producción pecuaria*

Significa la producción de especies mayores como los bovinos y menores como ovinos, porcinos y caprinos, además de aves de corral. Se realiza en toda el área de estudio, involucrando a la gran mayoría de las familias, el número de cabezas por familia es considerable por lo que se tiene gran parte de porcentaje de ingresos económicos a través de las ventas. El ganado vacuno genera importantes recursos económicos monetarios, las otras especies tienen una importancia secundaria y están destinados fundamentalmente para el autoconsumo. El sistema de crianza es extensivo y a nivel familiar, donde prima el consumo en pastoreo de pradera nativa y rastrojo de monte bajo, con una complementación de rastrojos de cosecha (Ministerio de Medio Ambiente y Agua Universidad Autónoma Juan Misael Saracho Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, 2018).

3.4.3. *Producción forestal*

Las especies arbóreas que predominan son, Algarrobo, churqui, molle, entre otras, especialmente la superficie forestal se encuentra mayormente en las partes altas, también se cuenta con pequeños bosques introducidos con especies como el Pino radiata, Eucalipto. Generalmente las especies es de tipo familiar y/o comunal, principalmente de utilidad de leña como combustible y también para la construcción de sus viviendas y como hacia también para sus cerramientos de sus parcelas agrícolas, asimismo para el alimento del ganado.

Entre otros que tiene y con la misma importancia como ser protección del suelo evitando erosiones, la regulación del clima, aporte de materia orgánica, sombra, forraje para el ganado y uso medicinal (Ministerio de Medio Ambiente y Agua Universidad Autónoma Juan Misael Saracho Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, 2018).

3.4.4. Infraestructura

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

3.4.5. Servicios Básicos, Salud y Educación

La dotación de agua potable en la zona se les brindo a partir del 2016 a su vez cuentan con luz eléctrica pero no cuenta con alcantarillado sanitario en las viviendas; Se cuentan con un Centro de Salud móvil, pero en las comunidades vecinas ya sean estos Yesera Norte o Santa Ana. Se cuenta con una Unidad Educativa en la Comunidad de Yesera Sud.

3.5. Estudios Previos al diseño

3.5.1. Topografía

En el estudio, elaboración y ejecución de cualquier proyecto de Ingeniería de obras que tengan como asiento la superficie de la tierra, es necesario el uso de la Topografía.

1° En la elaboración del área destinada para la obra. Las características del terreno son la guía del ingeniero, para la mejor distribución y ubicación de la obra, en sus aspectos funcionales y ornamentales; y del Ingeniero para conseguir la mayor rigidez, estabilidad y seguridad de ésta. Se refiere al levantamiento topográfico de la zona.

2° En la Geometrización del proyecto, donde se vinculan en forma analítica, los diferentes ejes de simetría de la obra, entre sí mismo y con elementos fijos del terreno, (puntos permanentes) con fines de su posterior replanteo.

3° En el replanteo, mediante el cual se ubican en el terreno las diferentes partes de la obra, en las posiciones relativas señaladas en el proyecto. Para la construcción de una carretera es necesario pasar por las siguientes etapas:

- a) Planificación
- b) Anteproyecto
- c) Proyecto
- d) Construcción.

Existen partes de estas etapas que se logran con el auxilio de la Topografía, las cuales son:

- a) Estudio de las rutas
- b) Estudio del trazado
- c) Anteproyecto
- d) Proyecto.

3.5.1.1. Objetivo

El objetivo principal del Levantamiento Topográfico Georreferenciado es determinar la ubicación geográfica exacta y confiable del presente camino, por medio de coordenadas planas u/o geográficas, adecuados y vinculados a la red de control permanente (puntos trigonométricos), hallando como resultado la faja del camino referenciado, información que servirá para el diseño y como también para futuros estudios y proyectos.

3.5.1.2. Metodología de trabajo

El trabajo de levantamiento topográfico se efectuó en dos etapas, la primera que comprendió los trabajos de medición en campo y la segunda que consistió en el procesamiento de la información y obtención de resultados en gabinete.

Los trabajos desarrollados en campo fueron los siguientes:

- a) Determinación de los puntos de control vertical (BM)
- b) Nivelación geométrica de los puntos de control horizontal (poligonal base) y vertical (BM)

En general, durante la ejecución de los trabajos de campo, se tuvo que superar las siguientes dificultades:

La topografía accidentada de la zona que en algunos sectores presenta laderas de inclinación transversal, dificultaron la toma de datos mediante prisma, por lo que se tuvo que recurrir a la tecnología del sistema láser.

Las condiciones climatológicas, con temperaturas bajas en horas de la mañana como también elevadas temperaturas en el transcurso de la tarde.

En algunos sectores, la presencia de vegetación densa dificultó la observación del prisma.

Procesamiento de la información: La información de campo fue registrada en los módulos de memoria de los equipos empleados para las mediciones, para luego efectuar las siguientes tareas en gabinete:

3.5.1.3. Determinación de los puntos de control (BM)

Para realizar la nivelación de los puntos de control se empleó un nivel, con lecturas de ida y vuelta con una precisión de 8 mm para la nivelación doble de un kilómetro.

Luego de efectuada la determinación de las coordenadas y los niveles de los puntos de control se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 7 Planilla Taquimétrica de BM

PLANILLA TAQUIMETRICA DE BM
COORDENADAS GEODESICAS EN SISTEMA WGS-84 ZONA 20 "BM"
Proyecto "DISEÑO DE INGENIERIA MONTE - HORNS"

Punto	Este	Norte	Elevación	Sigla
14	338289	7627470	2167	BM1
15	338993.909	7627243.88	2143.715	BM10
16	339021.027	7627203.46	2142.792	BM11
17	339048.14	7627186.25	2140.726	BM12
18	339145.34	7627154.17	2128.954	BM13
19	339163.573	7627162.99	2132.239	BM14
20	339232.138	7627313.9	2136.906	BM15
21	339350.364	7627547.11	2155.083	BM16
22	339418.701	7627639.33	2165.56	BM17
23	339573.885	7627774.43	2169.369	BM18
24	339611.771	7627782.31	2177.67	BM19
25	338369.826	7627506.27	2170.274	BM2
26	340064.361	7627733.31	2194.269	BM20
27	340277.457	7627962.45	2210.174	BM21
28	339910.836	7627400.17	2215.508	BM22A
29	340141.797	7626690.66	2234.995	BM23
30	340067.835	7626738.02	2217.363	BM24
31	340474.883	7626545.02	2279.674	BM25
32	340779.581	7626838.39	2250.342	BM26
33	340769.394	7626797.77	2246.603	BM27
34	341282.1	7627137.95	2226.927	BM28
35	341269.564	7627185.96	2229.935	BM29
36	338445.591	7627600.86	2167.002	BM3
37	340944.604	7627013.52	2236.383	BM30

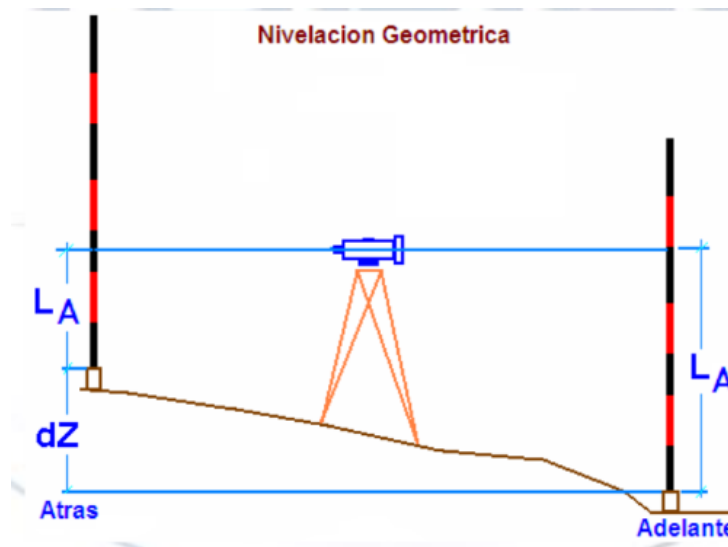
38	338509.896	7627613.35	2162.079	BM4
39	338635.007	7627644.54	2157.378	BM5
40	338708.59	7627660.47	2151.384	BM6
41	338881.721	7627539.23	2148.871	BM7
42	338935.153	7627285.5	2146.102	BM8
43	338962.965	7627247.69	2145.733	BM9

Fuente Elaboración Propia

3.5.1.4. Nivelación geométrica.

Una vez finalizado la densificación de bancos de nivel (BM), se procedió a realizar la nivelación geométrica con el método arrastre de cotas, partiendo de un BM conocido.

Figura 17 Nivelación Geométrica



Para este trabajo de nivelación geométrica se utilizaron niveles electrónicos, para optimizar tiempo, ya que el tramo comprendido era largo.

Con el método arrastre de cotas, y realizado una ida y vuelta se compensaron los errores, y ajustados internamente en el equipo, se obtuvieron cotas geométricas de los bancos de nivel y pares de puntos GPS.

3.5.1.5. Re levantamiento topográfico

El Levantamiento Topográfico fue planificado en campo, a partir de un reconocimiento de la zona de proyecto, con el fin de orientar y definir la faja que permitirá el trazado de la carretera, identificando puntos de control tales como:

Cruces de ríos, poblaciones intermedias, obras de paso de cuencas, evaluación de expropiaciones y otros.

Por otra parte, en trabajo de gabinete se definió el trazo sobre cartas geográficas identificando su ubicación, ajustando el mismo a las condiciones topográficas del terreno y a parámetros técnicos de diseño acordes a la categoría de la carretera tales como: anchos, alineamientos y pendientes, además de la ubicación de puentes y alcantarillas. Adicionalmente se efectuó levantamientos en cauces de quebrada, ríos, riachuelos, para obtener una información detallada que permita el diseño de obras de arte.

Una vez definido el trazo, se realizó el levantamiento de las fajas topográficas; secciones transversales, propiedades, quebradas, cauces de agua, ríos, cruces y otros detalles existentes a lo largo del camino en un ancho de faja de 100m.

La poligonal base fue localizada por tramos y enlazada a los puntos de control planimétricos.

Para la lluvia de puntos en campo se utilizaron la siguiente descripción.

Tabla 8 Planilla de Descripción de Siglas

**PLANILLA DE DESCRIPCION
COORDENADAS GEODESICAS EN SISTEMA WGS-84 ZONA 20 "BM"
Proyecto "DISEÑO DE INGENIERIA MONTE - HORNOS"**

Sigla	Descripción
RT-D	Ruta Principal Der
RT-I	Ruta Principal Izq
OC-I	Orilla Camino Izq
OC-D	Orilla Camino Der
TN	Terreno Natural
BT	Borde Talud
BQ	Borde Quebrada
CR-PT	Cerco de Ramas-Pie talud
PT	Pie talud
CR	Cerco de Ramas
OR	Orilla Rio
OQ	Orilla Quebrada
OC-I Rio	Orilla Camino Izq Rio

OC-D Rio	Orilla Camino Der Rio
Q	Quebrada
OC-D Q	Orilla Camino Der Quebrada
OC-D Canal	Orilla Camino Der Canal
CA	Cerco de Alambre
C	Canal
CP	Cerco de Piedra
CAS	Casa
Gab	Gavión
S	Sembradío
P	Portón
PL	Poste de Luz
CP-BT	Cerco de Piedra Borde talud
OC-I Q	Orilla Camino Izq Quebrada
OC-I BQ	Orilla Camino Izq Borde Quebrada
OC-D BQ	Orilla Camino Der Borde Quebrada

Fuente Elaboración Propia

3.5.1.6. Proceso de datos

Una vez hecho todos los procesos ya antes mencionados los datos que se obtienen se los debe procesar, para esto se apoyara en el programa civil 3D, el cual se mostrara a continuación.

Para este proceso, se debe extraer los datos que nos proporciona los diferentes equipos topográficos.

Recuperación de la información obtenida en campo, que se encuentra almacenada en los módulos de registro de los instrumentos de medición, a sistemas computacionales por medio de programas y planillas electrónicas desarrolladas para tal efecto.

Detección y depuración de datos inconsistentes que pudieron presentarse durante el proceso de medición de campo.

Cálculo de coordenadas y/o cotas de los puntos obtenidos en campo.

3.5.2. Estudio geotécnico

La necesidad de realizar ensayos sobre suelos, como sobre cualquier otro material esta originada por el deseo de objetivar su caracterización cuantificando sus propiedades.

Los ensayos utilizados habitualmente en la construcción de carreteras para la caracterización de suelos son los siguientes:

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Clasificación de suelos
- Proctor
- C.B.R.

Dichos ensayos pueden clasificarse en tres grupos que describiremos a continuación:

- a) Ensayos básicos de identificación estos dependen únicamente de la naturaleza del suelo y por tanto de sus propiedades intrínsecas los cuales son granulometría y límites de Atterberg.
- b) Ensayos complementarios y de identificación los cuales se refieren a características relativas al suelo entre los que están: densidad natural, contenido de materia orgánica humedad.
- c) Ensayos de caracterización del comportamiento estos tienen por objeto indicar las propiedades que el suelo puede alcanzar tras su tratamiento.

El trabajo de campo consistió en la excavación manual de 12 apiques, cada 500 m del desarrollo del camino “Monte – Hornos” hasta el final del tramo, con una profundidad mínima de entre 75 cm, obteniendo de cada Apique una cantidad aproximada de muestra de 50 Kg, con la finalidad de conocer la distribución de los diferentes materiales determinados en cada punto de exploración y así establecer las condiciones de humedad, densidad natural y las situaciones estructurales de la subrasante. Se obtuvieron un total de 12 muestras.

Tabla 9 Cantidad de Ensayos a realizar

Ensayos		Nº de Veces
Caracterización de Suelos	Contenido de Humedad	12
	Limites	12
	Granulometría	12
Resistencia y Deformabilidad de Suelos	Proctor	12
	CBR	12

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.1. Ensayos de laboratorio calicatas a cielo abierto

Excavación de calicatas

Se ha efectuado una excavación de calicatas las cuales se han ubicado cada 500 m de longitud a lo largo de la vía, en cada sondeo se ha determinado la composición estratigráfica de la fundación incluyendo la profundidad del lecho rocoso y se han tomado muestras representativas y realizando los ensayos en el laboratorio.

La práctica de pozos a cielo abierto constituye el mejor método de exploración y toma de muestras de la subrasante existente ya que en ellos pueden examinarse los suelos en su condición natural. Se abre un pozo de 1*1.5 m

El material excavado se recoge en bolsas individuales si el muestreo es realizado por capas. Posteriormente, se marca o coloca una identificación posteriormente los materiales son muestreados y llevados a laboratorio de suelos para su posterior análisis.

3.5.2.2. Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo

Para muchos tipos de suelo, el contenido de agua es una de las propiedades índices más significativas, que se emplea para establecer una correlación entre el comportamiento de dicho suelo y otras propiedades índices.

El contenido de agua de un suelo se usa en casi todas las ecuaciones que expresan las relaciones de fase entre aire, agua y sólidos, en un volumen dado de material.

Este método cubre la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado por peso. Por simplicidad, de aquí en adelante, la palabra "material" se refiere a suelo, roca o mezclas de suelo-agregado, la que sea aplicable.

El contenido de agua del material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o "agua libre", en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.

3.5.2.3. Granulometría

Este método permite, mediante tamizado, determinar la distribución por tamaños de las partículas mayores que 0,075 mm, de una muestra de suelo.

La clasificación granulométrica tiene por objeto determinar y cuantitativamente el tamaño de las partículas de los agregados finos y gruesos de un material por tamices con aberturas cuadradas que cumplan las especificaciones para cedazos del ensayo AASTHO M-92. la cual se la puede realizar por tres procedimientos de preparación de muestras.

- Método por vía seca.
- Método por vía húmeda.
- Método por vía combinada.

Los resultados de clasificación que fueron obtenidos en la excavación de calicatas a lo largo de todo el tramo Monte – Hornos

Tabla 10 Resumen granulométrico de muestras extraídas

Muestra	Ubicación	Prog.	Granulometría															
			% que pasa del Total															
			3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 10	Nº 30	Nº 40	Nº 60	Nº 100	Nº 200
M1	Tramo Monte - Hornos	0 + 00	100.00	100.00	87.50	82.65	82.65	80.60	79.50	79.00	77.25	75.90	75.75	74.10	72.40	70.35	65.15	59.55
M2	Tramo Monte - Hornos	0 + 500	83.44	70.38	61.67	52.24	43.58	42.38	41.40	41.13	40.02	38.73	38.44	36.00	33.67	30.02	23.73	16.11
M3	Tramo Monte - Hornos	1 + 00	100.00	88.62	76.35	71.95	63.55	59.68	53.05	52.03	44.87	38.47	37.37	33.37	31.52	29.65	24.55	19.88
M4	Tramo Monte - Hornos	1 + 500	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.45	98.40	98.20	96.95	95.35	95.05	91.05	86.00	80.30	63.00	43.40
M5	Tramo Monte - Hornos	2 + 00	100.00	92.87	88.22	80.40	67.07	62.53	53.13	51.57	45.90	42.12	41.17	35.02	31.53	27.38	18.77	16.02
M6	Tramo Monte - Hornos	2 + 500	100.00	100.00	100.00	98.03	93.18	77.88	43.10	40.68	21.28	14.43	13.75	11.53	11.20	10.93	10.25	9.23
M7	Tramo Monte - Hornos	3 + 00	100.00	100.00	100.00	98.86	86.52	76.32	74.48	56.36	41.70	29.24	27.20	18.04	16.86	16.20	15.34	13.84
M8	Tramo Monte - Hornos	3 + 500	100.00	100.00	100.00	95.83	93.20	92.80	89.17	88.20	82.03	71.27	69.27	61.17	58.37	55.67	51.53	40.60
M9	Tramo Monte - Hornos	4 + 00	88.84	79.81	68.46	52.87	37.71	26.73	9.83	8.07	2.51	1.49	1.43	1.20	1.16	1.14	1.10	0.97
M10	Tramo Monte - Hornos	4 + 500	88.88	84.23	75.90	70.00	47.98	40.35	29.05	27.68	23.19	20.98	20.64	15.91	11.89	7.49	4.74	2.79
M11	Tramo Monte - Hornos	5 + 00	100.00	100.00	97.10	87.37	77.87	72.40	62.10	60.77	55.50	51.72	51.08	48.07	46.72	44.15	25.47	12.53
M12	Tramo Monte - Hornos	5 + 500	87.85	70.15	63.30	54.43	47.13	46.42	45.43	45.03	42.70	41.10	40.83	39.02	37.43	22.47	13.07	6.30

Fuente Elaboración Propia

3.5.2.4. Límites de Atterberg

Estos ensayos describen cuantitativamente el efecto de variación de la humedad en la consistencia de amasado de suelos de grano fino los cuales deben pasar por el tamiz N° 40.

Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar que lo incluyan en el estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de agua o humedad límite de los distintos materiales varían según sus propiedades y procedencia.

Estos estados se denominan límite líquido, límite plástico y límite de contracción los cuales se describirán a continuación.

3.5.2.5. Determinación del límite líquido de los suelos

Este método establece el procedimiento para determinar el límite líquido de los suelos, mediante la máquina Casagrande.

El límite Líquido, es la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm entre sí, fluya y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes.

- Plato de Evaporación
- Espátula
- Aparato de Límite Líquido (Máquina Casagrande)
- Acanalador
- Cápsulas para Secado Debe ser de aluminio, bronce o acero inoxidable.
- Balanza La balanza debe tener una precisión de 0,01 g.
- Probeta Graduada La probeta debe tener una capacidad mínima de 25 ml.
- Horno

Tabla 11 Resumen de límite líquido del tramo

Muestra	Ubicación	Prog.	Límite Líquido
			LL
M1	Tramo Monte - Hornos	0 + 000	26.43
M2	Tramo Monte - Hornos	0 + 500	23.71
M3	Tramo Monte - Hornos	1 + 000	31.75
M4	Tramo Monte - Hornos	1 + 500	20.11
M5	Tramo Monte - Hornos	2 + 000	22.28
M6	Tramo Monte - Hornos	2 + 500	35.22
M7	Tramo Monte - Hornos	3 + 000	29.73
M8	Tramo Monte - Hornos	3 + 500	28.25
M9	Tramo Monte - Hornos	4 + 000	32.27
M10	Tramo Monte - Hornos	4 + 500	0.00
M11	Tramo Monte - Hornos	5 + 000	0.00
M12	Tramo Monte - Hornos	5 + 500	0.00

Fuente Elaboración Propia

3.5.2.6. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad

Humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0,5a 1cm de largo y no puedan ser reamasados ni reconstituidos.

Este método establece el procedimiento para determinar el Límite Plástico y el Índice de Plasticidad de los suelos.

El equipo necesario para este ensayo se muestra a continuación:

- Plato de evaporación
- Espátula
- Superficie de amasado
- Cápsulas para secado
- Balanza
- Patrón de comparación
- Horno

Tabla 12 Resumen de límite plástico e IP del tramo

Muestra	Ubicación	Prog.	Índice de Plasticidad
			IP
M1	Tramo Monte - Hornos	0 + 000	4.24
M2	Tramo Monte - Hornos	0 + 500	8.06
M3	Tramo Monte - Hornos	1 + 000	6.57
M4	Tramo Monte - Hornos	1 + 500	3.30
M5	Tramo Monte - Hornos	2 + 000	3.42
M6	Tramo Monte - Hornos	2 + 500	11.82
M7	Tramo Monte - Hornos	3 + 000	9.41
M8	Tramo Monte - Hornos	3 + 500	8.71
M9	Tramo Monte - Hornos	4 + 000	23.52
M10	Tramo Monte - Hornos	4 + 500	0.00
M11	Tramo Monte - Hornos	5 + 000	0.00
M12	Tramo Monte - Hornos	5 + 500	0.00

Fuente Elaboración Propia

3.5.2.7. Clasificación de suelos

La clasificación de suelos utilizada es la AASTHO (American Association of State Highway and transportation Officials) la cual identifica al suelo según su naturaleza (grava, arena, arcilla, limo), así se diferencian siete grupos de suelos, denominados A-1 a A-7, más otro que agrupa a los materiales orgánicos.

Los cuales se muestran en la siguiente tabla

Tabla 13 Clasificación de suelos método AASTHO

Clasificación	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)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	a-5	A-6	A-7
Clasificación de grupo	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 de material que pasa el tamiz											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40											
LL				40 máx.	41 mín.	40 máx.	40 máx.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
IP	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de grupo	0		0	0			4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.

Fuente: Metodología AASTHO para la clasificación de suelos

Tabla 14 Resumen de clasificación de suelos del Tramo

Muestra	Ubicación	Prog.	CLASIFICACION DEL LA MUESTRA					
			LL	IP	No 10	No 40	No 200	Clasificación
M1	Tramo Monte - Hornos	0 + 000	26.43	4.24	75.75	72.40	59.55	A - 4 (5)
M2	Tramo Monte - Hornos	0 + 500	23.71	8.06	38.44	33.67	16.11	A - 2 - 4 (0)
M3	Tramo Monte - Hornos	1 + 000	31.75	6.57	37.37	31.52	19.88	A - 2 - 4 (0)
M4	Tramo Monte - Hornos	1 + 500	20.11	3.30	95.05	86.00	43.40	A - 4 (2)
M5	Tramo Monte - Hornos	2 + 000	22.28	3.42	41.17	31.53	16.02	A - 2 - 4 (0)
M6	Tramo Monte - Hornos	2 + 500	35.22	11.82	13.75	11.20	9.23	A - 2 - 6 (0)
M7	Tramo Monte - Hornos	3 + 000	29.73	9.41	27.20	16.86	13.84	A - 2 - 4 (0)
M8	Tramo Monte - Hornos	3 + 500	28.25	8.71	69.27	58.37	40.60	A - 4 (1)
M9	Tramo Monte - Hornos	4 + 000	32.27	23.52	1.43	1.16	0.97	A - 2 - 4 (0)
M10	Tramo Monte - Hornos	4 + 500	0.00	0.00	20.64	11.89	2.79	A - 1b (0)
M11	Tramo Monte - Hornos	5 + 000	0.00	0.00	51.08	46.72	12.53	A - 1b (0)
M12	Tramo Monte - Hornos	5 + 500	0.00	0.00	40.83	37.43	6.30	A - 1b (0)

Fuente Elaboración Propia

3.5.2.8. Compactación

La compactación es la reducción de espacios vacíos que contiene los materiales para darles una mayor densidad y rigidez.

Para que la carretera ofrezca al usuario unas condiciones adecuadas todas las obras de infraestructura deben ser construidas de forma que se alcance su estabilidad volumétrica y una resistencia frente a las cargas a que será sometida.

La compactación se constituye en un método eficaz y económico que mejora la resistencia de los suelos a las solicitaciones indicadas a continuación:

- Cargas del trafico
- El peso propio del terraplén y de los rellenos
- El agua infiltrada, que a lo largo del tiempo reduce la resistencia.

El proceso de compactación debe resolver los problemas tecnológicos que aparecen en cada una de sus tres fases, que son las siguientes:

- a) La selección de los materiales más adecuados atendiendo a sus propiedades resistentes una vez compactados
- b) La selección de la maquinaria más adecuada para la compactación estableciendo

los detalles del proceso y en especial el espesor de capa a compactar

c) El control de la compactación

Proctor T-180

Este método establece el procedimiento para determinar la relación entre la humedad y la densidad de un suelo, compactado en un molde normalizado, mediante un pisón de 4,5 Kg. en caída libre, desde una altura de 460 mm, con una energía específica de compactación de $2,67 \text{ J/cm}^3$ ($\approx 27,2 \text{ kgf cm/cm}^3$). En suelos que no permiten obtener una curva definida de relación humedad/densidad y que contengan menos de un 12% de partículas menores que 0,08 mm ($\approx$ ASTM N° 200), se debe determinar la densidad de acuerdo con el Método para Determinar la Densidad Relativa en Suelos No Cohesivos.

El material utilizado en terraplenes, mejoramiento de subrasante y capa sub base se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de ingeniería tales como: resistencia al corte, comprensibilidad o permeabilidad.

Los ensayos de compactación en laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de humedad que se necesitan para así obtener las propiedades requeridas por las especificaciones técnicas del proyecto.

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en laboratorio para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación)

Este ensayo se aplica tanto para suelos fino como granulares.

El equipo que se utiliza para este ensayo se describe a continuación:

- Molde de 6 pulgadas de diámetro
- Martillo de compactación de 10 libras
- Balanza de 21 kg. con precisión de 0.1 gr
- Balanza de 2610 gr. con precisión de 0.01gr
- Probeta de 5000 cc
- Taras para humedad (4 unidades)

- Regla metálica (enrasadora)
- Brocha de 2 pulgadas
- Espátula
- Cocinilla u horno eléctrico

Tabla 15 Resumen Densidad y humedad óptima para los diferentes tramos

Muestra	Ubicacion	Prog.	PROC. T-180	
			D max	H %
M1	Tramo Monte - Hornos	0 + 000	1.87	10.72
M2	Tramo Monte - Hornos	0 + 500	1.93	7.92
M3	Tramo Monte - Hornos	1 + 000	1.95	12.04
M4	Tramo Monte - Hornos	1 + 500	2.02	10.27
M5	Tramo Monte - Hornos	2 + 000	1.92	11.36
M6	Tramo Monte - Hornos	2 + 500	2.11	8.61
M7	Tramo Monte - Hornos	3 + 000	2.18	7.86
M8	Tramo Monte - Hornos	3 + 500	1.86	9.36
M9	Tramo Monte - Hornos	4 + 000	1.89	9.11
M10	Tramo Monte - Hornos	4 + 500	2.16	8.36
M11	Tramo Monte - Hornos	5 + 000	2.20	8.48
M12	Tramo Monte - Hornos	5 + 500	2.09	7.87

Fuente Elaboración Propia

3.5.2.9. Determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)

Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos, conocido como Razón de Soporte de California (CBR). El ensaye se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variables.

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

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

El equipo utilizado en este ensayo se muestra a continuación.

- Presa para CBR
- Molde de 6"
- Discos espaciadores
- Sobrepesos
- Vástagos
- Martillo de 12 libras
- Regla enrasadora
- Balanza de 21 Kg
- Balanza de 2610 gr
- Probeta de 500 cc
- Taras
- Aro dinamométrico de PR-100 y PR-20

Tabla 16 Resumen de CBR de todo el tramo

Muestra	Ubicación	Prog.	Ensayo CBR	
			100%	95%
M1	Tramo Monte - Hornos	0 + 000	8.52	6.21
M2	Tramo Monte - Hornos	0 + 500	23.53	15.60
M3	Tramo Monte - Hornos	1 + 000	19.01	12.80
M4	Tramo Monte - Hornos	1 + 500	13.49	8.46
M5	Tramo Monte - Hornos	2 + 000	17.55	10.85
M6	Tramo Monte - Hornos	2 + 500	27.34	15.19
M7	Tramo Monte - Hornos	3 + 000	20.40	13.56
M8	Tramo Monte - Hornos	3 + 500	10.97	8.24
M9	Tramo Monte - Hornos	4 + 000	18.82	14.30
M10	Tramo Monte - Hornos	4 + 500	39.84	27.59
M11	Tramo Monte - Hornos	5 + 000	38.29	27.75
M12	Tramo Monte - Hornos	5 + 500	28.66	17.40

Fuente Elaboración Propia

3.5.3. Estudio hidrológico

El análisis hidrológico ayuda a estimar los caudales que se utilizarán para el dimensionamiento de las distintas obras de evacuación, que para el proyecto serán las cunetas y alcantarillas de cruce.

Estos caudales se calcularon mediante procedimientos que se aplican en el análisis de cuencas como tales, como el cálculo de precipitaciones diarias y curvas IDF (curvas de intensidad, duración y frecuencia), y el resto de parámetros nos ayudan a definir estos caudales.

3.5.3.1. Análisis de los datos hidrológicos

La información necesaria para realizar este análisis está constituida por la precipitación máxima diaria observada en cada uno de los años de registro, denominándose a la muestra en este caso, serie anual.

Para utilizar este análisis de frecuencia es deseable contar con un mínimo de 20 años de registro. La representatividad, calidad y consistencia de los datos es esencial, a fin de que los valores usados representen observaciones ciertas y precisas. Por tal motivo, antes de iniciar el estudio probabilístico, la información de crecidas debe someterse a un cuidadoso escrutinio que asegure que las series de datos utilizados son válidos.

Para llegar a la representación estadística de las características pluviométricas de un determinado lugar, la información recopilada debe previamente revisarse, analizarse y procesarse a fin de detectar errores u omisiones en su medición, así como debe verificarse la homogeneidad de la información recopilada, que dé validez estadística a los análisis a que dicha información sea sometida. La utilización de esta información requiere, por lo tanto, de una serie de tratamientos de verificación, relleno, corrección y ampliación de ella.

En el proyecto se pudo conseguir datos completos de 20 años y cercanos al proyecto lo cual no requirió realizar un análisis de consistencia al no requerir relleno ni ampliación de datos. Los datos necesarios para el estudio se los adjunta en los anexos.

3.5.3.2. Obtención de curvas IDF a partir de datos pluviográficos

Para determinar las Curvas IDF a partir de datos pluviográficos, es necesario contar con registros de lluvia en el lugar de interés y seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones en cada año, con el fin de realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series así formadas.

Ajuste de los datos con una Función de Distribución de Probabilidad. Una vez calculadas las intensidades máximas horarias de precipitación para cada estación y para cada año, es necesario asignar a cada duración de lluvia seleccionada un período de retorno, para luego ajustar dichos valores a una Función de Distribución de Probabilidad. Los modelos de mayor aceptación y mediante los cuales se efectúa normalmente el análisis son Gumbel

Tabla 17 Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)		
			x_i	$(x_i - \bar{x})^2$	
1	2002	119.80	119.80	506.25	142.30 mm
2	2003	128.00	128.00	204.49	
3	2004	76.50	76.50	4329.64	
4	2005	177.00	177.00	1204.09	36.14 mm
5	2006	142.70	142.70	0.16	
6	2007	131.00	131.00	127.69	
7	2008	233.00	233.00	8226.49	
8	2009	114.90	114.90	750.76	
9	2010	137.30	137.30	25.00	28.18 mm
10	2011	167.30	167.30	625.00	
11	2012	159.30	159.30	289.00	
12	2013	161.00	161.00	349.69	126.04 mm
13	2014	128.00	128.00	204.49	
14	2015	153.20	153.20	118.81	
15	2016	92.00	92.00	2530.09	
16	2017	85.00	85.00	3283.29	
17	2018	168.00	168.00	660.49	
18	2019	136.00	136.00	39.69	
19	2020	171.00	171.00	823.69	
20	2021	165.00	165.00	515.29	
20		Suma	2846.0	24814.1	

Fuente Elaboración Propia

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	136.3634	0.5000	154.0907
5	1.4999	168.3003	0.8000	190.1793
10	2.2504	189.4452	0.9000	214.0731
25	3.1985	216.1619	0.9600	244.2630
50	3.9019	235.9819	0.9800	266.6596
100	4.6001	255.6555	0.9900	288.8908
200	5.2958	275.2574	0.9950	311.0409
500	6.2136	301.1183	0.9980	340.2637
1000	6.9073	320.6634	0.9990	362.3496

La altura de lluvia máxima diaria para diferentes periodos de retorno se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 18 Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

Tabla 19 Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración								
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años	1000 años
24 hr	X24 =	154.09	190.18	214.07	244.26	266.66	288.89	311.04	340.26	362.35
18 hr	X18 = 91%	140.22	173.06	194.81	222.28	242.66	262.89	283.05	309.64	329.74
12 hr	X12 = 80%	123.27	152.14	171.26	195.41	213.33	231.11	248.83	272.21	289.88
8 hr	X8 = 68%	104.78	129.32	145.57	166.10	181.33	196.45	211.51	231.38	246.40
6 hr	X6 = 61%	94.00	116.01	130.58	149.00	162.66	176.22	189.73	207.56	221.03
5 hr	X5 = 57%	87.83	108.40	122.02	139.23	152.00	164.67	177.29	193.95	206.54
4 hr	X4 = 52%	80.13	98.89	111.32	127.02	138.66	150.22	161.74	176.94	188.42
3 hr	X3 = 46%	70.88	87.48	98.47	112.36	122.66	132.89	143.08	156.52	166.68
2 hr	X2 = 39%	60.10	74.17	83.49	95.26	104.00	112.67	121.31	132.70	141.32
1 hr	X1 = 30%	46.23	57.05	64.22	73.28	80.00	86.67	93.31	102.08	108.70

Fuente Elaboración Propia

Tabla 20 Tabla de intensidades - Tiempo de duración

Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	25
2	234.78	209.82	175.73	153.14	136.87	124.46	114.63	106.60	99.90	94.20	89.28	87.06
5	265.06	236.89	198.40	172.90	154.52	140.52	129.41	120.35	112.78	106.35	100.80	98.29
10	290.54	259.66	217.47	189.52	169.38	154.02	141.85	131.92	123.63	116.57	110.49	107.74
25	328.02	293.16	245.52	213.97	191.23	173.89	160.15	148.94	139.57	131.61	124.74	121.64
50	359.56	321.34	269.12	234.54	209.61	190.61	175.55	163.26	152.99	144.26	136.73	133.33
100	394.12	352.23	295.00	257.09	229.76	208.93	192.43	178.95	167.70	158.13	149.87	146.15
200	432.01	386.09	323.35	281.80	251.85	229.02	210.92	196.15	183.82	173.33	164.28	160.20
500	487.74	435.90	365.07	318.16	284.34	258.56	238.14	221.46	207.53	195.69	185.47	180.87
1000	534.63	477.80	400.16	348.74	311.67	283.42	261.03	242.75	227.48	214.51	203.30	198.25

Fuente Elaboración Propia

La ecuación de intensidad válida para la cuenca resulta:

$$I = \frac{577.60 * T^{0.132421}}{t^{0.616386}}$$

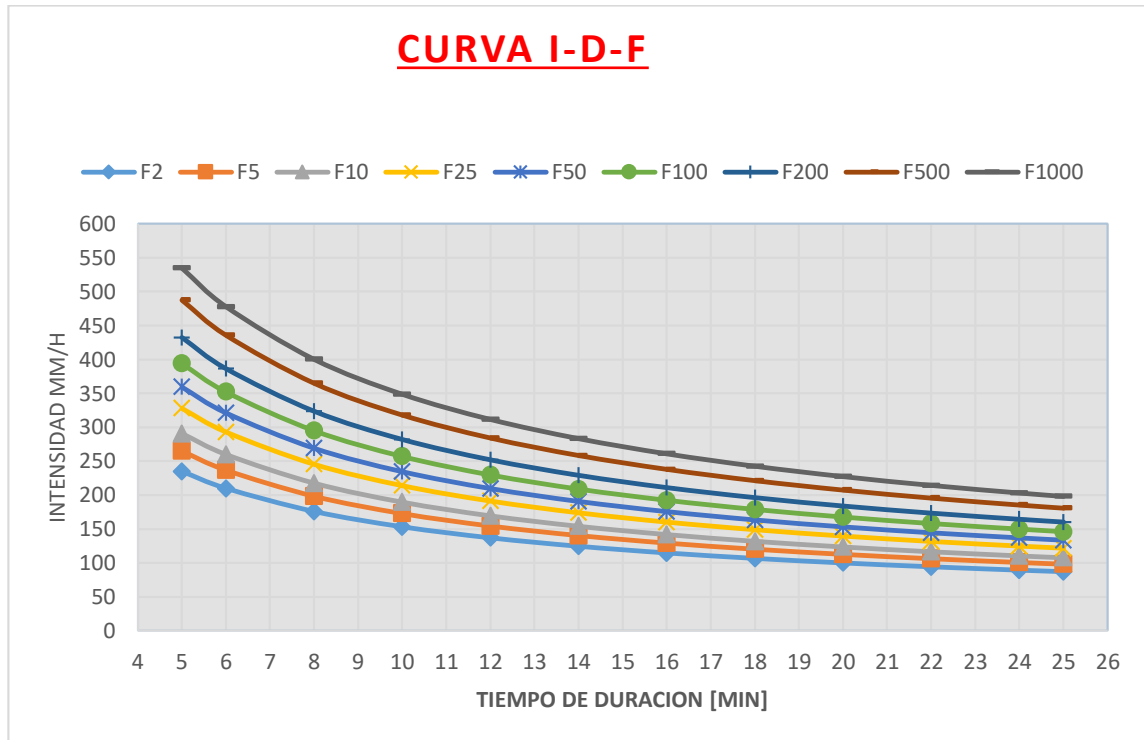
Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)

T = Período de Retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

Figura 18 Curvas IDF



3.5.4. Trafico

Según el libro de ingeniería de pavimentos de Alfonso Montejó haciendo referencia a INV (Instituto Nacional de Vías Colombia)

La demanda por una vía está determinada por el flujo de vehículos que circula por ella. Este 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.

El aforo para este proyecto se realizó en una semana, cinco días hábiles y dos días no hábiles, en cinco diferentes horarios con el fin de obtener un aforo representativo para así obtener un tráfico de diseño.

El TPD se halla efectuando un conteo, durante una semana, de todos los vehículos que pasan por la carretera objeto de estudio. Teniendo en cuenta que el tránsito en general presenta variaciones mensuales y estacionales, es necesario hacer una cuidadosa elección de la semana de aforo.

El tránsito total registrado, se divide por los siete días del conteo obteniéndose el TPDS, el cual debe discriminarse en vehículos livianos y comerciales.

En la siguiente tabla se muestra el resultado de los aforos realizados en el tramo Zona Monte – Hornos

Tabla 21 Resumen de Aforo total de vehículos

Días	Liviano	Mediano	Pesado	Total
9/10/2024	10	0	3	13
10/10/2024	11	4	2	17
11/10/2024	6	6	3	15
12/10/2024	15	2	6	23
13/10/2024	21	4	0	25
14/10/2024	11	4	1	16
15/10/2024	11	1	4	16
TPD	13	3	3	18

Fuente Elaboración Propia

3.5.4.1 Proyección del tráfico

El periodo de diseño adoptado es de 15 años, esto en función a la tabla siguiente, que nos indica que para una vía de pavimento flexible el periodo de diseño debe estar entre 4 a 15 años y será una de las alternativas a considerar.

Tabla 22 Periodo de diseño para proyección del tráfico

Tipo de Pavimento	Años	
TS	4	5
Flexible	4	15
Rígido	10	30

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93

El índice de crecimiento para el diseño de la vía se especifica a continuación en la tabla siguiente:

Tabla 23 Índice de crecimiento

Factores	Local (%)	Nacional (%)
Parque Automotor	6.2	5.3
Producto Interno Bruto	4.98	5.46
Índice de Crecimiento Poblacional	1.9	1.7
Tasa Promedio	4.36	4.2

Fuente Elaboración Propia

La ecuación para calcular el TPD futuro es el siguiente:

$$TPD_{futuro} = TPD_{actual} * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^n$$

Donde:

TPD fut = Tráfico proyectado

TPD act = Tráfico aforado

i= Índice de crecimiento

n= Periodo de diseño

Tabla 24 TPD futuro

AÑO	Liviano	Mediano	Pesado	Total
2024	13	3	3	19
2025	14	4	4	22
2026	15	4	4	23
2027	15	4	4	23
2028	16	4	4	24
2029	17	4	4	25
2030	17	4	4	25
2031	18	5	5	28
2032	19	5	5	29
2033	20	5	5	30
2034	20	5	5	30
2035	21	5	5	31
2036	22	6	6	34
2037	23	6	6	35
2038	24	6	6	36
2039	25	6	6	37

Fuente Elaboración Propia

3.5.4.2 Tráfico generado

Para el proyecto se adoptó un tráfico generado de 20% del tráfico normal, debido a que se recomienda que para vías a ser pavimentadas se debe incrementar en un porcentaje al tráfico aforado, por el incremento en el uso de la vía recién pavimentada.

Tráfico generado → 20% Tráfico normal

Tabla 25 Tráfico generado

AÑO	Liviano	Mediano	Pesado	Total
2024	3	1	1	5
2025	3	1	1	5
2026	3	1	1	5
2027	3	1	1	5
2028	4	1	1	6
2029	4	1	1	6
2030	4	1	1	6
2031	4	1	1	6
2032	4	1	1	6
2033	4	1	1	6
2034	4	1	1	6
2035	5	1	1	7
2036	5	2	2	9
2037	5	2	2	9
2038	5	2	2	9
2039	5	2	2	9

Fuente Elaboración Propia

3.5.4.3. Tráfico inducido

Se adoptó para el diseño un tráfico inducido del 10% del tráfico normal

Tráfico inducido → 10% Tráfico normal

Tabla 26 Tráfico inducido

AÑO	Liviano	Mediano	Pesado	Total
2024	2	1	1	4
2025	2	1	1	4
2026	2	1	1	4
2027	2	1	1	4
2028	2	1	1	4
2029	2	1	1	4
2030	2	1	1	4
2031	2	1	1	4

2032	2	1	1	4
2033	2	1	1	4
2034	2	1	1	4
2035	3	1	1	5
2036	3	1	1	5
2037	3	1	1	5
2038	3	1	1	5
2039	3	1	1	5

Fuente Elaboración Propia

3.5.4.4 Tráfico total

$$Tf = CNT + Ti + Tg$$

Donde:

Tf= Tráfico futuro

Ti= Tráfico inducido

Tg= Tráfico generado

CNT= Tráfico normal

Tabla 27 Tráfico total

AÑO	TRAFICO NORMAL	TRAFICO INDUCIDO	TRAFICO GENERADO	TOTAL
2024	19	4	5	28
2025	22	4	5	31
2026	23	4	5	32
2027	23	4	5	32
2028	24	4	6	34
2029	25	4	6	35
2030	25	4	6	35
2031	28	4	6	38
2032	29	4	6	39
2033	30	4	6	40
2034	30	4	6	40
2035	31	5	7	43
2036	34	5	9	48
2037	35	5	9	49
2038	36	5	9	50
2039	37	5	9	51

3.5.4.5 Cálculo del número de ejes equivalentes W18 (ESALs)

Para el cálculo de los ejes equivalentes se utilizó la siguiente expresión:

$$ESALs = TPDA * GF * DD * LD * TF * 365$$

Donde:

TPD= Tráfico promedio diario anual.

GF= Factor de crecimiento (se lo obtiene de la tabla entrando con la tasa de crecimiento).

DD= Factor de distribución direccional

LD= Factor de distribución por carril

TF= Factor de camión

Tráfico proyectado para el año 2034

Año de inicio de funcionamiento de la vía, tomando como tiempo de construcción de 10 años a partir de la fecha considerando la crisis económica que está pasando en la actualidad

Tabla 28 Tráfico proyectado

Trafico	Vehículo Liviano	Vehículo Mediano	Vehículo Pesado	Total
TPD	33	9	9	51
%	64.7	17.6	17.6	100

Fuente Elaboración Propia

Para el cálculo del número de ejes o LEFs se usó la tabla 3.1 y 3.2 de la norma AASTHO 93 para el diseño de pavimentos, entrando con una serviciabilidad final de 2 y un SN de 5 pulg. (inicialmente). Ver anexo 4

Tabla 3.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, pt = 2.0

Carga por eje		SN pulg (mm)					
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	17.8	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	26.7	0.009	0.012	0.011	0.1	0.009	0.009
8	35.6	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	44.5	0.075	0.085	0.09	0.085	0.79	0.076
12	53.4	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	62.3	0.325	0.338	0.354	0.35	0.338	0.331
16	71.2	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596

Tabla 3.2. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, pt = 2.0

Carga por eje		SN pulg (mm)					
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	0	0	0	0	0	0
4	17.8	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	26.7	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	35.6	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	44.5	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	53.4	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	62.3	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	71.2	0.041	0.048	0.05	0.046	0.042	0.04
18	80	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	89	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	97.9	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	106.8	0.227	0.244	0.26	0.252	0.239	0.231
26	115.7	0.322	0.34	0.36	0.353	0.338	0.329
28	124.6	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	133.5	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	142.4	0.81	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18

Tabla 29 Cálculo de ejes equivalentes

Tipo De Vehículo	Carga por Eje (Kips)	Tipo de Eje	Volumen de Tráfico Diario	Nº De Ejes	LEFs	Nº de ESALs
Liviano	4	Simple	33	33	0.002	0.066
Mediano	10	Simple	9	9	0.79	7.11
Pesado	38	Tandem	9	18	1.73	31.14
Total			51	60		38.316

Fuente Elaboración Propia

$$\text{Factor camión} = TF = \frac{\text{Nº de ESALs}}{\text{Nº de camiones}}$$

Con un factor de crecimiento obtenido de la tabla 3,19 de la norma AASHTO 93 Ver anexo 4

Tabla 3.19. Factores de crecimiento de tránsito

Periodo de análisis	Factor de Crecimiento	Tasa de Crecimiento anual (%)						
(años)	*	2	4	5	6	7	8	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.1
3	3	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5	5.2	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6	6.31	6.63	6.8	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7	7.43	7.9	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8	8.58	9.21	9.55	9.9	10.26	10.64	11.44
9	9	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.5	24.52
14	14	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17	20.01	23.7	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18	21.41	25.65	28.13	30.91	34	37.45	45,60
19	19	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20	24.3	29.78	33.06	36.79	41	45.76	57.28
25	25	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Tabla 30 Calculo del ESALs

Tipo de Vehículo	Carga por Eje (Kips)	Tipo de Eje	Volumen de Tráfico Diario	Factor de Crecimiento	Tránsito de Diseño	Factor de Camión	Nº de ESALs
Liviano	4	Simple	33	20.5816	247905.4	0.75	186249.8
Mediano	10	Simple	9	20.5816	67610.56	0.75	50795.4
Pesado	38	Tandem	9	20.5816	67610.56	0.75	50795.4
Total			51				287840.7

Fuente Elaboración Propia

$$ESALs \text{ de diseño} = N^{\circ} ESALs * DD * LD$$

En general es 0.5, es decir que del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debería deducirse del censo de tránsito.

Como la carretera cuenta con una vía en cada sentido entonces el DD= 0,5 y con un LD=1

Número de carriles en cada dirección	LD
1	1
2	0.80 - 1
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

$$ESALs \text{ de diseño} = 287840.7 * 0,5 * 1$$

$$ESALs \text{ de diseño} = 143920.35$$

$$ESALs \text{ de diseño} = 0,14 \times 10^6$$

3.6. Diseño de Ingeniería

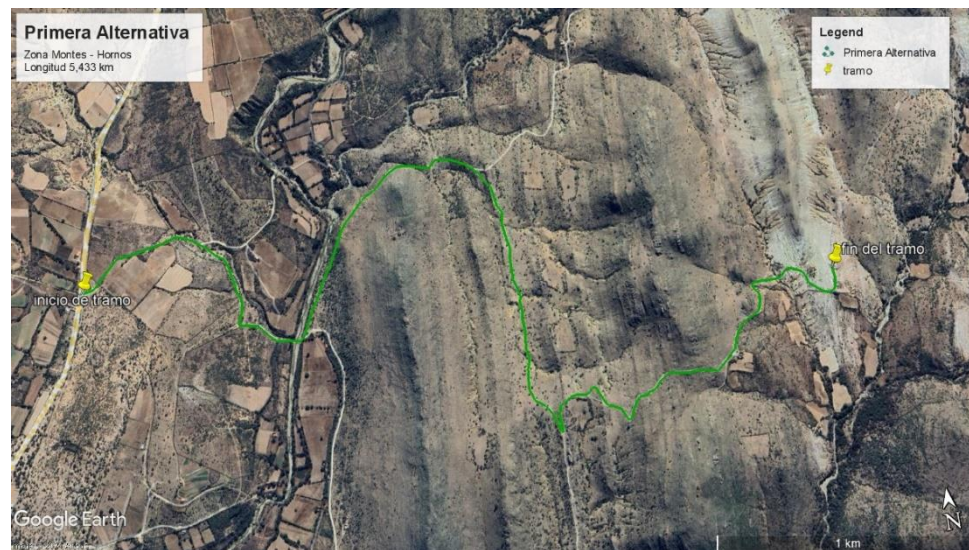
3.6.1. Análisis y elección de alternativas

El análisis y elección de alternativas consiste en escoger el trazo preliminar adecuado, utilizando mapas o planos levantados. En este caso se realizaron tres trazos preliminares para así obtener los planos sobre los cuales se pueden comparar y escoger el más conveniente.

Alternativa 1

El trazo de la alternativa 1 presenta una longitud de aproximadamente de 5433 m, el trazo realizado se apegó al camino ya existente. En esta alternativa se tendría que realizar el diseño de un puente porque atraviesa por el río. Presenta una pendiente máxima de 10 %.

Figura 19 Alternativa 1



Fuente: Google Earth Pro

Alternativa 2

Esta alternativa presenta un trazo de longitud, de apropiadamente 6631 metros, a diferencia de la alternativa 1, ésta cruza por propiedades privadas y terrenos que están colindantes al camino actual en parte ya que también se debería de diseñar un puente puesto que atraviesa un rio, hay que tener en cuenta que este tramo entro en conflictos sociales por lo cual anteriormente se apertura la alternativa 1 para que entre en funcionamiento y evitar dichos problemas sociales entre comunidades.

Figura 20 Alternativa 2



Fuente: Google Earth Pro

Alternativa 3

La alternativa 3 al igual que la alternativa 1 pasa por terrenos y propiedades colindantes al camino actual, tiene una longitud 5296.22 metros, con una pendiente máxima de 11.90%.

Selección de la alternativa

La alternativa de trazo más conveniente para esta vía es la numero 3, siendo esta menor que la alternativa 1 y 2.

La cual es similar a la alternativa 1 pero dicha alternativa seleccionada fue adecuada para cumplir todas las recomendaciones del manual de la ABC la cual no presenta problemas técnicos para el trazo de las curvas horizontales, también la pendiente se encuentra dentro de lo que nos indica la norma.

Como también ya se mencionó en la alternativa dos pasa por propiedades privadas y terrenos que están colindantes al camino actual, el tema de expropiación de terrenos será un factor económico importante si queremos optar por una de estas opciones, ya que elevará nuestro presupuesto considerablemente, haciéndolo in viable para su construcción.

3.6.2. Diseño Geométrico

3.6.2.1. Parámetros de diseño geométrico

Para definir los parámetros geométricos de este proyecto, se ha efectuado un análisis del manual para diseño de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras.

3.6.2.2. Clasificación del tramo vial

La clasificación de la ABC para diseño de caminos.

Cada categoría se subdivide según las velocidades de proyecto consideradas al interior de la categoría. Las velocidades de proyecto más altas corresponden a trazados en terrenos llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terreno montañoso.

De acuerdo a lo establecido en las características básicas de diseño geométrico para la construcción de caminos de la Administradora Boliviana de Carreteras, el tramo se establece como un camino **categoría de desarrollo (IV)**.

3.6.2.3. Velocidad de proyecto

Los Caminos de Desarrollo son los que se conectan a los caminos locales, su sección transversal prevista normalmente es de dos carriles bidireccionales y 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

La velocidad de proyecto de un camino, es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado, principalmente en el alineamiento horizontal y vertical, en condiciones de comodidad y seguridad.

Por lo tanto, según la categoría de camino, la velocidad de diseño para el tipo de terreno es de **30 km/h** para el tramo Monte - Hornos.

3.6.2.4. Alineamiento horizontal

3.6.2.4.1. Radio de curvas horizontales

La expresión que se emplea para hallar los radios mínimos es:

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

Donde:

Rmin = Radio Mínimo absoluto (m)

Vp = Velocidad de proyecto (Km/h)

emax = Peralte máximo (m/m)

f= Coeficiente de fricción transversal correspondiente a Vp.

Tabla 31 Valores máximos de peralte y fricción transversal

Descripción	e _{máx}	f
Caminos Vp 30 a 80 km/h	7 %	0,265 – V/602,4

Carreteras		
Vp 80 a 120 km/h	8 %	0,193 – V/1134

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

$$f = 0.265 - \frac{Vp}{602.4}$$

$$f = 0.265 - \frac{30}{602.4}$$

$$f = 0.2152$$

Según la tabla 31 para nuestra velocidad de 30km/h tenemos:

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

Reemplazando los valores en la ecuación para la obtención de radios mínimos:

$$R_{min} = \frac{30^2}{127(0.07 + 0.2152)}$$

$$R_{min} = 24.85 \text{ m} \cong 25\text{m}$$

Tabla 32 Radios mínimos en curvas horizontales

Caminos

colectores – locales – desarrollo

Vp	emáx	f	Rmin
km/h	%	---	m
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180
80	7	0,132	250

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

Cabe mencionar que el manual a su vez nos da una tabla 32 de radios mínimos con la cual se puede sustentar el método analítico el cual nos sale similar en función a nuestra velocidad de proyecto.

3.6.2.4.2. 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 distintas 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 (Caminos Bidireccionales)
- Visibilidad al Punto de Atención
- Visibilidad en Intersecciones
- Visibilidad para cruzar una Carretera o Camino

Las dos primeras situaciones influyen el diseño de la carretera en campo abierto y serán tratadas en esta Sección, considerando inicialmente la situación de referencia; es decir, en alineamiento recto y sin pendiente, para luego analizar el efecto de las pendientes y de las obstrucciones a la visibilidad que pueden darse en las curvas horizontales.

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.

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

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

Donde:

V= Velocidad de diseño

t= Tiempo de reacción

f= Fricción neumático pavimento

i= Pendiente del tramo

Tabla 33 Distancia mínima de frenado en horizontal

V	t	f1	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
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38	40
50	2	0,410	27,8	24,0	51,8	52	50
60	2	0,400	33,3	35,5	68,8	70	60
70	2	0,380	38,9	50,8	89,7	90	70
80	2	0,360	44,4	70,0	114,4	115	80
100	2	0,330	55,5	119,4	174,9	175	100

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

De acuerdo a la tabla 33 para el proyecto con una velocidad de 30Km/h se adoptó una Df de 25m,

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 retornar a su carril en forma segura, sin afectar la velocidad del vehículo adelantado ni la de un vehículo que se desplace en sentido contrario por el carril utilizado para el adelantamiento.

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.

Tabla 34 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
100	600

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

Con relación a la siguiente tabla 34 y al existir longitudes mayores distancia mínima de frenado se consideró para el proyecto $D_a=180\text{m}$.

3.6.2.4.3. Curvas horizontales.

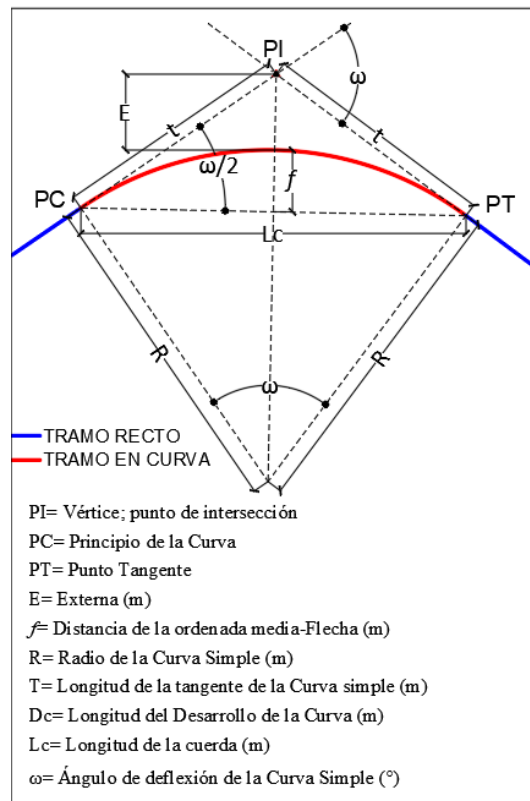
Curvas horizontales

Las curvas horizontales pueden ser de dos tipos: de curvas circulares y curvas clotoide. Para este proyecto sólo se trazó un solo tipo de curva, curva circular, debido a la categoría del camino (de desarrollo y con velocidad de 30 km/hr) y la topografía, ya que la misma es de características de terreno montañoso a ondulado fuerte; por esto está compuesto de diferentes tipos de radios de curvaturas.

Curvas circulares simples

Según la Norma del Manual de Diseño Geométrico ABC (2009, Bolivia) se aplican curvas circulares cuando; los caminos de desarrollo tienen una velocidad de proyecto igual a 30 km/h.

Figura 21 Curva circular simple



Fuente Elaboración Propia

Tabla 35 Valores admisibles de pendiente

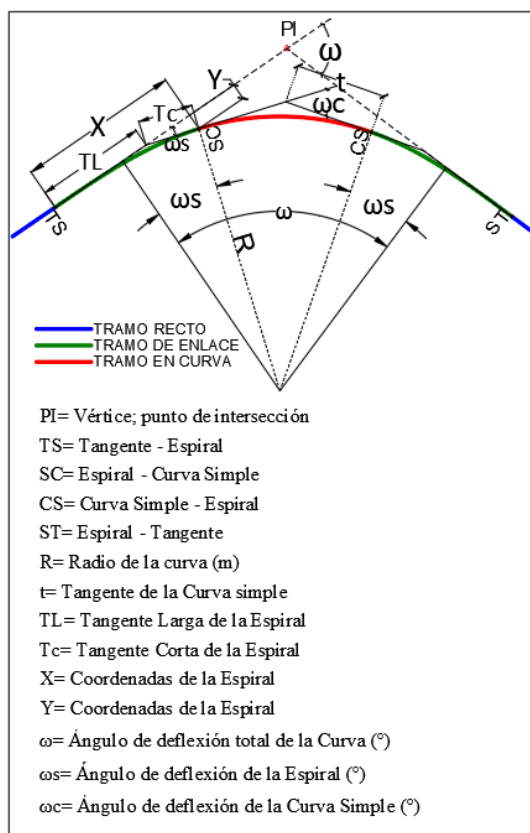
Vp (km/h)	30 – 50	60 – 70	80 – 90	100 – 120
Δ Normal	0,7	0,6	0,5	0,35
Δ Máx n = 1	1,5	1,3	0,9	0,8
Δ Máx n > 1	1,5	1,3	0,9	0,8

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

Curvas espirales de transición

Las curvas espirales de transición se utilizan para mejorar la comodidad y la seguridad de los usuarios en las carreteras. Entre ellas, la más utilizada en el diseño de vías es la espiral de Euler o clotoide. El presente post contiene un formulario realizando para todos aquellos asiduos visitantes de doble vía que interrogan en los comentarios por las fórmulas de cálculo para los elementos geométricos de tales curvas.

Figura 22 Curva espiral



Fuente Elaboración Propia

3.6.2.4.4. Resumen de parámetros de diseño.

Tabla 36 Parámetros de diseño Monte - Hornos

HORIZONTAL			
Clase =	DESARROLLO		Categoría de la Carretera
Vp =	30	Km/h	velocidad de proyecto
Terreno =	montañoso		tipo de terreno
R.min =	25	m	radio mínimo (absoluto)
P.max =	7	%	peralte máximo
Df =	25	m	distancia mínima de frenado
Da =	180	m	distancia de adelantamiento
Lr.max =	600	m	longitud máxima en rectas
longitud minima en rectas			
Lr.S =	#N/D	m	entre curvas de distinto sentido
Lr.C =	25	m	entre curvas del mismo sentido
VERTICAL			
i.max =	11.9	%	Pendiente máxima admisible
Kv =	300	m	Parámetros mínimos en curvas verticales convexas
Kc =	400	m	Parámetros mínimos en curvas verticales cóncavas
Ka =	3500	m	Parámetro mínimo de adelantamiento para curvas verticales
L.min. C.Ver. =	30	m	Longitud mínima de curvas verticales

Fuente Elaboración Propia

3.5.2.4.5. Resultados del diseño Horizontal.

Tabla 37 Resumen de alineamiento horizontal

# DE ELEMENTO	PROG.	RADIO	LONGITUD DE ESPIRAL	DESARROLLO DE CURVA	DEFLEXION DE CURVA CIRCULAS	DEFLEXION DE LA ESPIRAL	X	Y	TS	SC	CS	ST
L1												
S1			30.01			10.75	29.91	1.87	0+004.46			0+034.47
C1	0+050.72	80		32.058	22.96					0+034.47	0+066.53	
S1			30.01			10.75	29.91	1.87	0+066.53			0+096.54
L2												
S2			30.01			10.75	29.91	1.87	0+151.34			0+181.35
C2	0+196.06	80		29.097	20.84					0+181.35	0+210.45	
S2			30.01			10.75	29.91	1.87	0+210.45			0+240.46
L3												
S3			25			1.79	25	0.26	0+292.31			0+317.31
C3	0+336.15	400		37.647	5.39					0+317.31	0+354.96	
S3			25			1.79	25	0.26	0+354.96			0+379.96
L4												
S4			35.11			12.57	34.94	2.56	0+405.29			0+440.40
C4	0+460.34	80		39.083	27.99					0+440.40	0+479.48	
S4			35.11			12.57	34.94	2.56	0+479.48			0+514.60
L5												
S5			25.31			9.06	25.25	1.33	0+629.41			0+654.72
C5	0+671.23	80		32.566	23.32					0+654.72	0+687.28	
S5			25.31			9.06	25.25	1.33	0+687.28			0+712.60
L6												
S6			34.81			9.97	34.7	2.02	0+903.90			0+938.71
C6	0+952.88	100		28.141	16.12					0+938.71	0+966.85	
S6			34.81			9.97	34.7	2.02	0+966.85			1+001.66
L7												
S7			25.21			6.02	25.18	0.88	1+045.38			1+070.59
C7	1+084.64	120		27.979	13.36					1+070.59	1+098.57	
S7			25.21			6.02	25.18	0.88	1+098.57			1+123.78
L8												
C8	1+213.80	25		35.43	81.2					1+192.37	1+227.80	
L8												
S9			34.6			3.96	34.58	0.8	1+641.63			1+676.23
C9	1+716.58	250		80.018	18.34					1+676.23	1+756.25	
S9			34.6			3.96	34.58	0.8	1+756.25			1+790.84
L9												
S10			31.25			1.79	31.25	0.33	1+862.99			1+894.24
C10	1+914.14	500		39.778	4.56					1+894.24	1+934.02	
S10			31.25			1.79	31.25	0.33	1+934.02			1+965.27
S11			31.25			11.19	31.13	2.03	1+965.27			1+996.52
C11	2+023.09	80		51.3	36.74					1+996.52	2+047.82	
S11			31.25			11.19	31.13	2.03	2+047.82			2+079.07
L10												
S12			17.86			14.62	17.74	1.51	2+142.34			2+160.20
C12	2+168.64	35		16.56	27.11					2+160.20	2+176.76	
S12			17.86			14.62	17.74	1.51	2+176.76			2+194.61
S13			17.63			16.84	17.48	1.72	2+194.61			2+212.25
C13	2+221.32	30		17.623	33.66					2+212.25	2+229.87	
S13			17.63			16.84	17.48	1.72	2+229.87			2+247.50
L11												
S14			34.81			9.97	34.7	2.02	2+323.44			2+358.25
C14	2+374.01	100		31.258	17.91					2+358.25	2+389.51	
S14			34.81			9.97	34.7	2.02	2+389.51			2+424.32
L12												
S15			34.44			4.93	34.42	0.99	2+454.55			2+488.99
C15	2+512.45	200		46.701	13.38					2+488.99	2+535.69	
S15			34.44			4.93	34.42	0.99	2+535.69			2+570.14

L13												
S16			25.03			0.96	25.02	0.14	2+707.25			2+732.28
C16	2+757.46	750		50.333	3.85					2+732.28	2+782.61	
S16			25.03			0.96	25.02	0.14	2+782.61			2+807.64
L14												
S17			34.68			3.31	34.67	0.67	3+165.57			3+200.25
C17	3+217.57	300		34.602	6.61					3+200.25	3+234.85	
S17			34.68			3.31	34.67	0.67	3+234.85			3+269.53
L15												
S18			33.75			16.11	33.48	3.15	3+307.96			3+341.71
C18	3+356.96	60		29.873	28.53					3+341.71	3+371.58	
S18			33.75			16.11	33.48	3.15	3+371.58			3+405.33
S19			34.95			9.1	34.86	1.85	3+405.33			3+440.27
C19	3+453.77	110		26.856	13.99					3+440.27	3+467.13	
S19			34.95			9.1	34.86	1.85	3+467.13			3+502.08
L16												
C20	3+789.52	25		73.419	168.27					3+546.21	3+619.63	
L17												
C21	3+730.31	25		44.54	102.08					3+699.40	3+743.93	
L18												
S22			20.08			5.23	20.07	0.61	3+770.43			3+790.51
C22	3+800.80	110		20.517	10.69					3+790.51	3+811.03	
S22			20.08			5.23	20.07	0.61	3+811.03			3+831.11
L19												
C23	3+925.80	30		24.261	46.33					3+912.96	3+937.22	
L20												
C24	4+033.11	16		41.776	149.6					3+974.23	4+016.00	
L21												
S25			20.83			17.05	20.64	2.05	4+061.38			4+082.21
C25	4+091.20	35		17.607	28.82					4+082.21	4+099.82	
S25			20.83			17.05	20.64	2.05	4+099.82			4+120.64
S26			20.63			8.44	20.58	1.01	4+120.64			4+141.27
C26	4+151.40	70		20.123	16.47					4+141.27	4+161.40	
S26			20.63			8.44	20.58	1.01	4+161.40			4+182.02
L22												
S27			19.56			8	19.52	0.91	4+193.01			4+212.57
C27	4+233.78	70		41.197	33.72					4+212.57	4+253.77	
S27			19.56			8	19.52	0.91	4+253.77			4+273.32
L23												
S28			34.85			7.99	34.78	1.62	4+380.09			4+414.93
C28	4+480.39	125		120.601	55.28					4+414.93	4+535.53	
S28			34.85			7.99	34.78	1.62	4+535.53			4+570.38
L24												
S29			23.04			6.6	23.01	0.88	4+587.41			4+610.45
C29	4+635.65	100		49.374	28.29					4+610.45	4+659.82	
S29			23.04			6.6	23.01	0.88	4+659.82			4+682.86
L25												
S30			20			12.73	19.9	1.48	4+723.01			4+743.01
C30	4+764.72	45		40.449	51.5					4+743.01	4+783.46	
S30			20			12.73	19.9	1.48	4+783.46			4+803.46
L26												
S31			20.83			19.89	20.58	2.39	4+822.22			4+843.06
C31	4+857.54	30		26.992	51.55					4+843.06	4+870.05	
S31			20.83			19.89	20.58	2.39	4+870.05			4+890.88
L27												
S32			20.83			19.89	20.58	2.39	5+025.97			5+046.80
C32	5+059.27	30		23.629	45.13					5+046.80	5+070.43	
S32			20.83			19.89	20.58	2.39	5+070.43			5+091.27
L28												
S33			20.48			11.73	20.39	1.39	5+102.36			5+122.84
C33	5+130.90	50		15.987	18.32					5+122.84	5+138.83	
S33			20.48			11.73	20.39	1.39	5+138.83			5+159.31
L29												
S34			20.57			21.05	20.3	2.49	5+184.59			5+205.16

C34	5+231.13	28		41.88	85.7					5+205.16	5+247.04	
S34			20.57			21.05	20.3	2.49	5+247.04			5+267.61
L30												

Fuente Elaboración propia

3.6.2.5. Alineamiento vertical

3.6.2.5.1. Pendiente longitudinal

Tabla 38 Pendiente máxima admisible

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

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

Adoptándose como pendiente máxima igual a **11.9%** para el tramo Cruce Monte – Hornos considerando velocidades ≤ 30 Km/h categoría de desarrollo zona de montaña.

Pendiente mínima

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

3.6.2.5.1. Curvas verticales

Curvas verticales convexas

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

$$K_v = D_f^2 / 4,48$$

Donde:

K_v = Parámetro curva vertical convexa

D_f = Distancia de frenado

Curvas verticales cóncavas

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

$$K_c = D_f^2 / (1,2 + 0,035 D_f)$$

Donde:

K_c = Parámetro curva vertical cóncava

D_f = Distancia de frenado

Tabla 39 Parámetro mínimo por criterio de visibilidad de frenado

Velocidad de proyecto	Curvas convexas			Curvas cóncavas
		Kv		Kc
	Vp	V*=Vp	V*=Vp+5	V*=Vp+10
(km/h)	Km/h	Km/h	Km/h	Km/h
30	300	300	300	400
50	700	950	1100	1000
60	1200	1450	1800	1400
70	1800	2350	2850	1900
80	3000	3550	4400	2600
100	6850	7400	8200	4200

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

Parámetros por visibilidad de adelantamiento

Tabla 40 Parámetro mínimo para visibilidad por adelantamiento

V (km/h)	30	50	60	70	80	100
K_a (m)	350	980	14900	21000	27200	39100

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

Longitud mínima de curvas verticales

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

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

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

Para el proyecto el desarrollo mínimo de la curva vertical será de 50 m correspondientemente a la velocidad del proyecto del tramo.

Tabla 41 Resumen de elementos de curvas verticales

Nº	Prog.(m)	Elev. (m)	i entrada (%)	i salida (%)	Curva	Longitud (m)	K (m)
1	0+081.92	2171.07	4.64	-3.02	Convexo	60	782.779
2	0+184.50	2167.97	-3.02	-7.6	Convexo	60	1310.914
3	0+312.15	2158.27	-7.6	-0.35	Cóncavo	60	827.514
4	0+392.25	2157.97	-0.35	-10.21	Convexo	70	709.871
5	0+505.99	2146.97	-10.21	-2.44	Cóncavo	60	771.804
6	0+608.64	2144.47	-2.44	7.01	Cóncavo	60	635.436
7	0+680.00	2149.47	7.01	-5.7	Convexo	50	393.623
8	0+828.53	2141.01	-5.7	5.01	Cóncavo	60	560.527
9	0+937.53	2146.47	5.01	-2.89	Convexo	60	759.244
10	1+044.38	2143.38	-2.89	-11.37	Convexo	60	707.93
11	1+131.53	2133.47	-11.37	0	Cóncavo	50	439.779
12	1+218.03	2133.47	0	5.74	Cóncavo	50	871.443
13	1+288.46	2137.51	5.74	1.27	Convexo	50	1119.776
14	1+514.38	2140.39	1.27	10.95	Cóncavo	120	1239.458
15	1+765.57	2167.9	10.95	-3.32	Convexo	60	420.433
16	1+889.04	2163.81	-3.32	6.36	Cóncavo	60	619.738
17	1+982.47	2169.75	6.36	-5.99	Convexo	60	485.607
18	2+092.97	2163.13	-5.99	7.64	Cóncavo	60	440.247
19	2+377.26	2184.85	7.64	1.36	Convexo	60	955.17
20	2+509.93	2186.64	1.36	-2.56	Convexo	60	1532.391
21	2+661.53	2182.76	-2.56	7.18	Cóncavo	80	821.201
22	2+796.67	2192.47	7.18	1.45	Convexo	60	1046.182
23	3+038.50	2195.97	1.45	4.87	Cóncavo	60	1753.553
24	3+195.50	2203.61	4.87	0.38	Convexo	60	1337.989
25	3+277.64	2203.93	0.38	8.7	Cóncavo	60	721.58
26	3+485.00	2221.97	8.7	0.65	Convexo	60	744.927
27	3+640.00	2222.97	0.65	4.37	Cóncavo	60	1611.844
28	3+734.25	2227.09	4.37	11.82	Cóncavo	60	805.148
29	4+049.61	2264.36	11.82	6.59	Convexo	60	1146.839
30	4+141.51	2270.42	6.59	-7.05	Convexo	60	439.832
31	4+253.79	2262.5	-7.05	-2.22	Cóncavo	50	1035.023
32	4+311.38	2261.21	-2.22	-11.43	Convexo	50	542.855
33	4+484.53	2241.42	-11.43	-4.91	Cóncavo	60	919.309
34	4+587.08	2236.39	-4.91	-8.92	Convexo	50	1244.609
35	4+946.86	2204.28	-8.92	3.22	Cóncavo	60	494.007
36	5+146.11	2210.7	3.22	11.9	Cóncavo	60	690.996
37	5+245.00	2222.47	11.9	1.06	Convexo	50	461.056

Fuente Elaboración propia

3.6.2.6. Sección transversal

Para el tipo de camino que tenemos que es de categoría local III se puede resumir en la siguiente tabla los parámetros de diseño.

Tabla 42 Parámetro de diseño de secciones transversales

Secciones transversales

Ancho de calzada	3 m
Bombeos	3 %
Bermas	0,5 m
Sobre ancho	0,5 m
Talud en corte	1:1
Talud en terraplén	1:1

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.6.1. Bombeos

El bombeo depende del tipo de superficie de rodadura y de la intensidad de la lluvia de 1 hora de duración con período de retorno de 10 años, propia del área en que se emplaza el trazado y determinado según un estudio hidrológico.

Tabla 43 Bombeo de la calzada

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

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

3.6.2.6.2. Sobreanchos en curvas

Tabla 44 Sobreanchos para curvas

Calzada en recta 6,0 m (n=2)	$0,35 \text{ m} \leq E \leq 3,20 \text{ m}$		$h1 = 0,45 \text{ m}$		$h2 = 0,05 \text{ m}$
Camión Unid. Simple	Lo= 9,5	$(Lo2/R)+0,15$	55 E	0,45 E	$30 \leq R \leq 450$
Lt = 11,0*					
Bus Corriente					
Lt = 12,0	Lo= 10,5	$(Lo2/R)+0,15$	55 E	0,45 E	$30 \leq R \leq 450$
Bus de turismo					
Lt = 13,2*					
Bus de turismo	Lt= 14,0				
Lt= 14,0					

Fuente: Manual de Diseño Geométrico, ABC

3.6.2.7. Taludes

3.6.2.7.1. Taludes de corte

Según la Japan Road Association Manual for Slope Protection (Manual de Protección de pendientes), la inclinación de los taludes del corte variará a lo largo de la obra según se 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.

Para decidir el valor de la pendiente y la forma del talud se debe realizar un juicio en conjunto analizando la influencia de todos los factores. En este estudio se puede requerir realizar ensayos de laboratorio y análisis de estabilidad, utilizando modelamientos matemáticos y físicos.

El cálculo de factores de seguridad utilizando modelos matemáticos determinísticos como los de Fellenius, Bishop Janbú o tantos otros es una práctica de ingeniería muy utilizada. Sin embargo, no siempre se dispone de información geotécnica suficiente y se requiere utilizar criterios empíricos generales. El uso de sistemas semi-empíricos requiere de mucho cuidado, especialmente si la experiencia no proviene de taludes en las mismas condiciones topográficas climáticas y geotecnicas.

A continuación, se presenta una tabla empírica de pendientes típicas utilizadas para taludes en cortes de carreteras.

Tabla 45 Taludes de corte recomendados

Material	Propiedades	Altura del corte (m)	Pendiente sugerida
Roca Dura			0.3H:1V a 0.8H:1V
Roca Blanda			0.5H:1V a 1.2H:1V
Arena	Poco densa		1.5H:1V a 2H:1V
Suelo arenoso	Denso	Menos de 5	0.8H:1V a 1H:1V
		5 a 10	1H:1V a 1.2H:1V
	Poco denso	Menos de 5	1H:1V a 1.2H:1V
		5 a 10	1.2H:1V a 1.5H:1V
Mezcla de arena con grava o masas de roca	Densa	Menos de 10	0.8H:1V a 1H:1V
		10 a 15	1H:1V a 1.2H:1V
	Poco densa	Menos de 10	1H:1V a 1.2H:1V

		10 a 15	1.2H:1V a 1.5H:1V
Suelos cohesivos		0 a 10	0.8H:1V a 1.2H:1V
Suelos cohesivos mezclados con masas de roca o bloques		Menos de 5	1H:1V a 1.2H:1V
		5 a 10	1.2H:1V a 1.5H:1V

Fuente: Japan Road Association

3.6.2.7.1. Taludes de relleno

Como la normativa de la ABC indica:

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 (H: V).

3.6.3. Diseño de obras para drenajes

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

3.6.3.1. Tiempo de concentración.

Hidrológicamente está demostrado que el caudal máximo en una corriente de agua para una sección particular de interés, se produce para una lluvia o tormenta cuya duración es igual al tiempo de concentración

3.6.3.2. Caudales máximos.

Los caudales máximos se estimaron usando el método racional que responde a la ecuación:

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

Dónde:

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

C = Coeficiente de escorrentía

I = Máxima intensidad media de precipitación, correspondiente al periodo de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración (mm/h)

A = Área de la cuenca o superficie drenada (km2)

CU = Coeficiente de uniformidad.

Con relación al coeficiente de escurrimiento C, que depende, entre otros factores, de la pendiente de la cuenca y del tipo de suelo.

Tabla 46 Coeficiente de escorrentía "C"

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

Fuente: Manual de Diseño Geométrico, ABC

En otra Situaciones la elección del coeficiente de escurrimiento puede abordarse, con la ayuda de factores de relieve, infiltración, cobertura vegetal y almacenamiento de agua en el suelo según la siguiente tabla.

Tabla 47 Coeficientes de escorrentía (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, suelos 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 con buena cobertura 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, sin zonas húmedas	0,06-0,08 Normal; posibilidad de almacenamiento buena, zonas húmedas, pantanos, lagunas y lagos	0,04-0,06 Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido, buenas planicies de inundación o gran cantidad de zonas húmedas, lagunas o pantanos.

Si T > 10 años Amplificar Resultado por:
T = 25 ; C x 1,10 T = 50 ; C x 1,20 T = 100 ; C x 1,25

Fuente: Manual de Diseño Geométrico, ABC

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

3.6.3.3. Diseño de alcantarillas.

En el 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 Paso. Construcción de 9 alcantarillas de paso y 8 alcantarillas de Alivio para los cursos de agua que se encuentran los siguientes tramos:

Tabla 48 Ubicación alcantarillas de paso

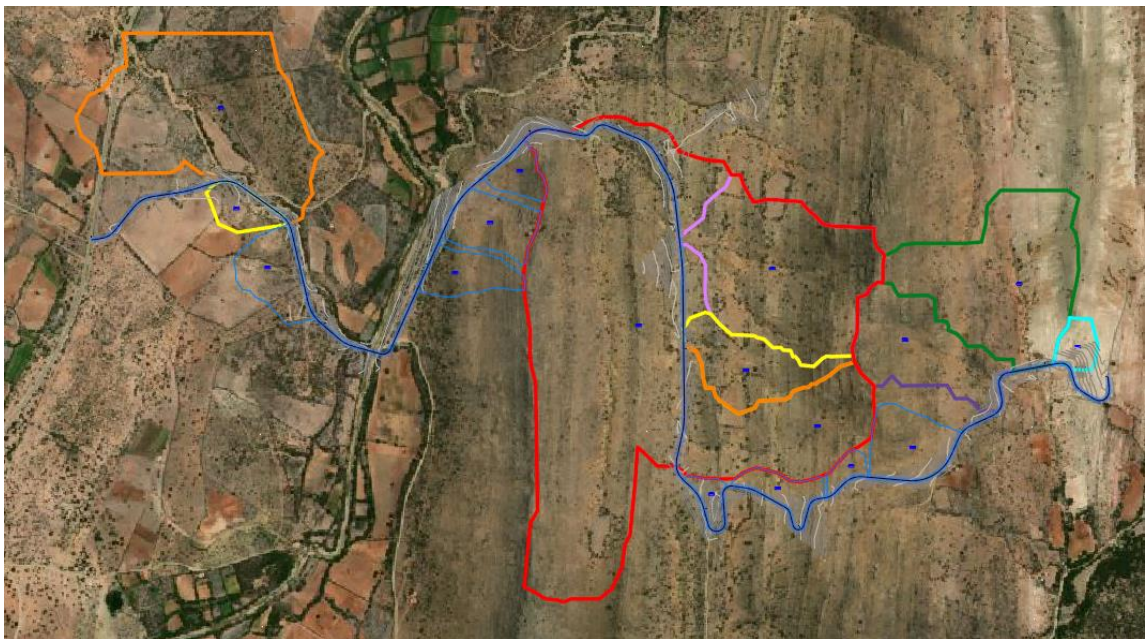
Tramo Monte - Hornos	
#	Progresiva
1	0+526
2	0+602
3	2+102
4	2+674
5	2+963
6	3+243
7	4+852
8	4+947
9	5+066

Tabla 49 Ubicación alcantarillas de alivio

Tramo Monte - Hornos	
#	Progresiva
1	0+829
2	1+420
3	1+576
4	1+889
5	3+387
6	3+730
7	4+280
8	4+630

Fuente: Elaboración Propia

Figura 23 Áreas de aporte de alcantarillas



Fuente: Google Earth Pro

A continuación, mostraremos el diseño hidráulico de las alcantarillas, con los datos necesarios ya obtenidos el detalle de todos los factores áreas, intensidades, caudales, etc. se encuentran en anexos, para tubos metálicos galvanizados $n = 0,025$.

Para darle un margen de seguridad al funcionamiento de las alcantarillas se determinaron los diámetros tales que los diámetros obtenidos tengan un bordo libre de 0.2 m con el cual

la relación tirante diámetro Y/D no sobrepase un 0.85% por seguridad considerando todas las verificaciones necesarias.

Tabla 50 Resumen del cálculo de las alcantarillas de paso

												Vmax		4.00 m/s			
												Bordo libre		20 cm			
DISEÑO DE ALCANTARILLAS DE SECCIÓN CIRCULAR DE PASO														Verificación			
Nº	Prog.	Caudal (m³/s)		Tipo	# Alc	D[m]	Y[m]	Y/D[%]	n[]	s[]	v[m/s]	Q[m³/s]	Qof[m³/s]	Qof[m³/s]	Qof>Qde	Qof>Qde	V<Vmax
		T25	T50										T=25años	T=50años	T=25años	T=50años	
1	0+526	1.02	1.23	ASTH	1	1.0	0.8	80.0	0.025	0.015	2.216	1.493	1.493	1.791	Cumple	Cumple	Cumple
2	0+602	1.10	1.32	ASTH	1	1.0	0.8	80.0	0.025	0.015	2.216	1.493	1.493	1.791	Cumple	Cumple	Cumple
3	2+102	4.64	5.55	ASTH	2	1.2	1.0	83.3	0.025	0.015	2.501	2.519	5.038	6.045	Cumple	Cumple	Cumple
4	2+674	2.87	3.43	ASTH	2	1.2	1.0	83.3	0.025	0.015	2.501	2.519	5.038	6.045	Cumple	Cumple	Cumple
5	2+963	0.99	1.18	ASTH	1	1.0	0.8	80.0	0.025	0.015	2.216	1.493	1.493	1.791	Cumple	Cumple	Cumple
6	3+243	1.55	1.85	ASTH	1	1.2	1.0	83.3	0.025	0.015	2.501	2.519	2.519	3.023	Cumple	Cumple	Cumple
7	4+852	1.65	1.98	ASTH	1	1.2	1.0	83.3	0.025	0.015	2.501	2.519	2.519	3.023	Cumple	Cumple	Cumple
8	4+947	1.61	1.92	ASTH	1	1.2	1.0	83.3	0.025	0.015	2.501	2.519	2.519	3.023	Cumple	Cumple	Cumple
9	5+066	0.38	0.46	ASTH	1	1.0	0.8	80.0	0.025	0.015	2.216	1.493	1.493	1.791	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 51 Resumen del cálculo de las alcantarillas de alivio

												Vmax	4.00 m/s				
												bordo libre	20 cm				
DISEÑO DE ALCANTARILLAS DE SECCIÓN CIRCULAR DE ALIVIO														VERIFICACION			
Nº	Prog.	Caudal (m³/s)		Tipo	# Alc	D[m]	Y[m]	Y/D[%]	n[]	s[]	v[m/s]	Q[m³/s]	Qof[m³/s]	Qof[m³/s]	Qof>Qde	Qof>Qde	V<Vmax
		T25	T50										T=25años	T=50años	T=25años	T=50años	
1	0+829	0.68	0.82	ASTH	1	0.8	0.6	75.0	0.025	0.015	1.899	0.768	0.768	0.922	Cumple	Cumple	Cumple
2	1+420	0.68	0.81	ASTH	1	0.8	0.6	75.0	0.025	0.015	1.899	0.768	0.768	0.922	Cumple	Cumple	Cumple
3	1+576	0.89	1.07	ASTH	1	1.0	0.8	80.0	0.025	0.015	2.216	1.493	1.493	1.791	Cumple	Cumple	Cumple
4	1+889	0.57	0.68	ASTH	1	0.8	0.6	75.0	0.025	0.015	1.899	0.768	0.768	0.922	Cumple	Cumple	Cumple
5	3+387	0.20	0.24	ASTH	1	0.8	0.6	75.0	0.025	0.015	1.899	0.768	0.768	0.922	Cumple	Cumple	Cumple
6	3+730	0.34	0.41	ASTH	1	0.8	0.6	75.0	0.025	0.015	1.899	0.768	0.768	0.922	Cumple	Cumple	Cumple
7	4+280	0.13	0.15	ASTH	1	0.8	0.6	75.0	0.025	0.015	1.899	0.768	0.768	0.922	Cumple	Cumple	Cumple
8	4+630	1.03	1.24	ASTH	1	1.0	0.8	80.0	0.025	0.015	2.216	1.493	1.493	1.791	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

3.6.3.4. Diseño de cunetas.

Para estimar el valor de las áreas de aporte sobre las cunetas se realizó similar procedimiento con las áreas de aporte de las alcantarillas, tomando como tiempo de concentración 10 minutos en caso de que los calculados sean menor a este por normativa y considerando un periodo de retorno de 5 años.

El coeficiente de escorrentía “C” fue ponderado tomando en cuenta dos tipos de suelos el natural y de la calzada.

Figura 24 Áreas de aporte de cunetas



Fuente: Google Earth Pro

Coefficiente de Escorrentía Promedio

$$C = \frac{\sum Ci * Ai}{\sum Ai}$$

Tiempo de Concentración

$$tc = tc1 + tc2$$

Dónde:

tc = Tiempo de concentración en [min].

tc1 = Tiempo de ingreso en [min].

tc2 = Tiempo de concentración durante el recorrido del agua en el canal en [min].

Para el tiempo de ingreso tc2:

$$tc2 = \frac{D}{60 * v}$$

Dónde:

tc2 = Tiempo de concentración durante el recorrido del agua en el canal en [min]

D = tramo de cuneta en [m]

v = Velocidad promedio del conducto en [m/s]

Ecuación de Intensidad

Se usará las ecuaciones de intensidad obtenida ya anteriormente

$$I = \frac{577.6 * T^{0.132421}}{t^{0.616386}}$$

Dónde:

I = intensidad de precipitación [mm/h]

T = Periodo de Retorno [años]

t = Tiempo de duración de precipitación [min]

Calculo de Caudales

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

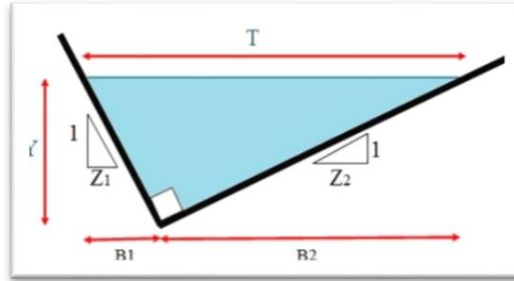
Tabla 52 Calculo de caudales de cunetas

No	Caulculo de Caudales												
	A (Ha)		Coef. Escorrentia (C)			Longitud	Tiempo de Concentracion (Min)				Periodo de Retorno	Intensidad	Caudal
	Cuenca	Pavimento	Cuenca	Pavimento	C (Prom)	D (m)	t1 (min)	t2 (min)	tc (min)	Por norma	T (años)	I (mm/h)	(m3/s)
1	1.10	0.03	0.25	0.7	0.26	70	11.53	2.12	13.65	13.65	5	142.70	0.12
2	1.30	0.04	0.25	0.7	0.26	100	2.39	4.77	7.16	10	5	172.90	0.17
3	1.80	0.06	0.25	0.7	0.26	150	4.41	5.91	10.32	10.32	5	169.59	0.23
4	2.40	0.06	0.25	0.7	0.26	140	3.41	4.43	7.84	10	5	172.90	0.31
5	2.40	0.02	0.25	0.7	0.25	50	2.94	2.11	5.05	10	5	172.90	0.29
6	3.10	0.06	0.25	0.7	0.26	150	2.14	6.54	8.68	10	5	172.90	0.39
7	4.00	0.07	0.25	0.7	0.26	170	2.80	9.45	12.25	12.25	5	152.55	0.44
8	0.90	0.03	0.25	0.7	0.26	70	1.52	2.03	3.54	10	5	172.90	0.12
9	0.80	0.03	0.25	0.7	0.27	80	1.43	2.84	4.27	10	5	172.90	0.11
10	0.80	0.04	0.25	0.7	0.27	100	1.76	3.45	5.20	10	5	172.90	0.11
11	0.95	0.10	0.25	0.7	0.29	240	3.81	9.35	13.15	13.15	5	146.01	0.12
12	0.60	0.01	0.25	0.7	0.26	30	2.49	0.56	3.05	10	5	172.90	0.08
13	1.20	0.03	0.25	0.7	0.26	70	2.39	1.85	4.24	10	5	172.90	0.15
14	1.10	0.06	0.25	0.7	0.27	140	2.70	2.97	5.68	10	5	172.90	0.15
15	1.50	0.08	0.25	0.7	0.27	190	2.55	6.92	9.48	10	5	172.90	0.21
16	0.50	0.02	0.25	0.7	0.26	40	2.09	1.43	3.52	10	5	172.90	0.07
17	1.00	0.12	0.25	0.7	0.30	300	1.72	8.38	10.10	10.10	5	171.81	0.16
18	0.70	0.08	0.25	0.7	0.29	190	1.99	8.23	10.23	10.23	5	170.55	0.11
19	0.70	0.05	0.25	0.7	0.28	120	1.73	5.01	6.74	10	5	172.90	0.10
20	0.90	0.06	0.25	0.7	0.28	150	1.25	5.42	6.67	10	5	172.90	0.13
21	3.40	0.10	0.25	0.7	0.26	260	2.54	13.98	16.53	16.53	5	126.85	0.33
22	3.60	0.06	0.25	0.7	0.26	140	3.48	7.37	10.85	10.85	5	164.40	0.43
23	1.00	0.01	0.25	0.7	0.26	30	1.98	1.19	3.17	10	5	172.90	0.12
24	0.70	0.02	0.25	0.7	0.26	50	1.81	1.26	3.08	10	5	172.90	0.09
25	1.00	0.09	0.25	0.7	0.29	218	2.05	9.95	12.00	12.00	5	154.55	0.13

Fuente: Elaboración Propia

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

Para el diseño de un canal triangular con las siguientes características:



Perímetro mojado

$$P = \left(\sqrt{1 + Z1^2} + \sqrt{1 + Z2^2} \right) * h$$

Ancho Superficial

$$T = (Z1 + Z2) * h$$

Área

$$A = \frac{(z1 + z2) * h^2}{2}$$

Radio Hidráulico

$$R = \frac{(Z1 + Z2) * h}{2 * (\sqrt{1 + z1^2} + \sqrt{1 + z2^2})}$$

Velocidad

$$v = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

Caudal

$$Q = A * v$$

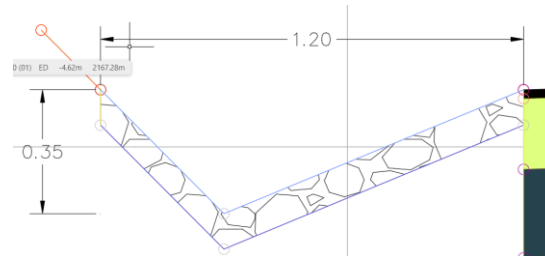
Tabla 53 Calculo hidráulico de cunetas

Calculo Hidraulico de Cuneta												Vel Max	3.5			
Taludes de Cuenta		Altura de Cuneta	Bordo libre	Tirante	Ancho Superficial	Area	Perimetro mojado	Radio Hidraulico	Pendiente de Cuneta	Velocidad	Caudal	Verificaciones				
z1	z2	H (m)	bl (m)	h (m)	T (m)	A (m2)	P (m)	R (m)	S (%)	S (m/m)	V (m/s)	Qof (m3/s)	Qof>Qd	V<3.5(m/s)	N°F	Tipo de flujo
1	1.5	0.35	0.10	0.25	0.625	0.078	0.80	0.10	4.64	0.0464	1.82	0.142	Cumple	Cumple	1.644	Supercritico
1	1	0.40	0.10	0.30	0.600	0.090	0.85	0.11	10.21	0.1021	2.86	0.258	Cumple	Cumple	2.361	Supercritico
1	2	0.40	0.10	0.30	0.900	0.135	1.10	0.12	5.70	0.0570	2.37	0.319	Cumple	Cumple	1.950	Supercritico
1	2.33	0.45	0.10	0.35	1.167	0.204	1.38	0.15	2.89	0.0289	1.90	0.388	Cumple	Cumple	1.449	Supercritico
1	1.5	0.45	0.10	0.35	0.875	0.153	1.13	0.14	5.74	0.0574	2.53	0.388	Cumple	Cumple	1.934	Supercritico
1	1.5	0.45	0.10	0.35	0.875	0.153	1.13	0.14	6.11	0.0611	2.61	0.400	Cumple	Cumple	1.996	Supercritico
1	2.33	0.40	0.10	0.30	1.000	0.150	1.19	0.13	10.95	0.1095	3.34	0.500	Cumple	Cumple	2.750	Supercritico
1	1.5	0.40	0.10	0.30	0.750	0.113	0.97	0.12	3.32	0.0332	1.74	0.196	Cumple	Cumple	1.434	Supercritico
1	1.5	0.35	0.10	0.25	0.625	0.078	0.80	0.10	6.36	0.0636	2.13	0.167	Cumple	Cumple	1.925	Supercritico
1	1.5	0.35	0.10	0.25	0.625	0.078	0.80	0.10	5.99	0.0599	2.07	0.162	Cumple	Cumple	1.868	Supercritico
1	1.5	0.35	0.10	0.25	0.625	0.078	0.80	0.10	7.64	0.0764	2.34	0.183	Cumple	Cumple	2.110	Supercritico
1	1.5	0.40	0.10	0.30	0.750	0.113	0.97	0.12	1.36	0.0136	1.11	0.125	Cumple	Cumple	0.918	Subcritico
1	2	0.40	0.10	0.30	0.900	0.135	1.10	0.12	2.56	0.0256	1.59	0.214	Cumple	Cumple	1.307	Supercritico
1	1.5	0.45	0.10	0.35	0.875	0.153	1.13	0.14	1.45	0.0145	1.27	0.195	Cumple	Cumple	0.972	Subcritico
1	2	0.40	0.10	0.30	0.900	0.135	1.10	0.12	4.87	0.0487	2.19	0.295	Cumple	Cumple	1.802	Supercritico
1	1.5	0.30	0.10	0.20	0.500	0.050	0.64	0.08	8.70	0.0870	2.15	0.107	Cumple	Cumple	2.169	Supercritico
1	1.5	0.45	0.10	0.35	0.875	0.153	1.13	0.14	2.51	0.0251	1.68	0.257	Cumple	Cumple	1.279	Supercritico
1	2	0.30	0.10	0.20	0.600	0.060	0.73	0.08	11.82	0.1182	2.60	0.156	Cumple	Cumple	2.625	Supercritico
1	1.5	0.30	0.10	0.20	0.500	0.050	0.64	0.08	11.82	0.1182	2.50	0.125	Cumple	Cumple	2.528	Supercritico
1	1.5	0.35	0.10	0.25	0.625	0.078	0.80	0.10	6.59	0.0659	2.17	0.170	Cumple	Cumple	1.960	Supercritico
1	1.5	0.40	0.10	0.30	0.750	0.113	0.97	0.12	11.43	0.1143	3.23	0.363	Cumple	Cumple	2.660	Supercritico
1	1.5	0.45	0.10	0.35	0.875	0.153	1.13	0.14	8.92	0.0892	3.16	0.484	Cumple	Cumple	2.411	Supercritico
1	1	0.35	0.10	0.25	0.500	0.063	0.71	0.09	8.92	0.0892	2.37	0.148	Cumple	Cumple	2.141	Supercritico
1	1.5	0.35	0.10	0.25	0.625	0.078	0.80	0.10	3.22	0.0322	1.52	0.118	Cumple	Cumple	1.370	Supercritico
1	1	0.35	0.10	0.25	0.500	0.063	0.71	0.09	11.90	0.1190	2.74	0.171	Cumple	Cumple	2.473	Supercritico

Fuente: Elaboración Propia

Una vez realizado los cálculos para los diferentes tramos de la vía, obteniendo varias así varias secciones, con el fin de uniformizar a una sección única por motivos constructivos, se optó por las dimensiones que se observan en la gráfica.

Figura 25 Dimensiones de cuneta utilizada



Fuente: Elaboración Propia

3.6.4. Diseño estructural

Se realizó el análisis de dos alternativas de rodadura que son:

- Alternativa 1: el diseño para un Pavimento Flexible.
- Alternativa 2: el diseño para un Tratamiento Superficial Doble.

Para llegar a determinar la mejor alternativa, se analizan todas las características técnicas necesarias para el tipo de proyecto que realizamos. El resultado estará expresado en las conclusiones.

3.6.4.1. 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, el mismo que ha sido definido anteriormente.

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

Material de la subrasante. Tiene que estar libre de vegetación y materia orgánica, en general los materiales apropiados para la subrasante, son los suelos de preferencia

granulares.

3.6.4.2. Pavimento flexible.

El pavimento flexible, al contar con una carpeta estructural formada por capas debe también tomar en cuenta para el diseño el material para dichas capas, las cuales son: capa base, capa sub base y capa de rodadura.

3.6.4.3. Diseño de pavimento con el Software DIPAV 2.3.

DIPAV 2.3 es la versión más reciente del software, desarrollada a fines del año 2016, al igual que su antecesor se basa en los conceptos de la Guía de diseño AASHTO versión 1993, el cuál es el método de uso oficial en Bolivia.

3.6.4.3.1. Resultado del estudio de tráfico.

Los resultados del estudio de tráfico nos dieron como resultado un ESALs de:

$$ESALs \text{ de diseño} = 0,14 \times 10^6$$

3.6.4.3.2. Determinación de CBR de diseño.

Dado que no siempre se cuenta con equipos para ejecutar el ensayo de módulo resiliente, es conveniente relacionarlo con otras propiedades de los materiales, por ejemplo, con respecto al CBR.

Se consideró como CBR de diseño el de menor valor de los 12 estudios realizados tomando en cuenta como factor de seguridad el cual es de 6.21%.

Se utilizó la siguiente fórmula para calcular el módulo de resiliencia MR en Psi.

$$\text{Para CBR} < 10\% \quad MR \text{ (Psi)} = 1500 * CBR$$

3.6.4.3.3. Índice de serviciabilidad.

La serviciabilidad inicial (po) es una medida de la suavidad del pavimento o facilidad de conducción inmediatamente después de la construcción. Tiene un rango en una escala de 0 a 5. El promedio de serviciabilidad inicial para pavimentos flexibles en el Ensayo de Carreteras de la AASHTO fue 4.2, el cual es normalmente utilizado en los diseños de pavimentos flexibles nuevos.

La Serviciabilidad Final (P_t) es el índice de servicio mínimo aceptable del pavimento, antes de que requiera una rehabilitación. En contraste con la serviciabilidad inicial que se mide en base a los registros de construcción, la serviciabilidad final o terminal es una función de muchos factores, incluyendo clasificación del pavimento, volumen de tráfico y ubicación. Generalmente las vías de mayor tráfico requieren estar en mejores condiciones antes de rehabilitarse que los caminos vecinales de baja velocidad. Los valores típicos de serviciabilidad final recomendados por la Guía AASHTO en la Parte 1, sección 1.3 están entre 2 y 3, el primero para vías poco transitadas y el último para carreteras importantes.

Índices de servicio inicial y final $p_o = 4,2$. $p_t = 2,5$ para el proyectó

3.6.4.3.4. Nivel de confianza.

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 54 Niveles de confiabilidad

Tipo de Carretera	Nivel de Confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85-99.9	80-99.9
Troncales	80-99	75-95
Colectoras o Locales	80-95	50-80

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO 1993

Se asumió una Confiabilidad $R=80\%$.

3.6.4.3.5. Desviación estándar global.

La desviación estándar global considera la variabilidad estadística presente en las ecuaciones de diseño a causa de la variabilidad en los datos de diseño, incluyendo las propiedades de los materiales; del suelo de fundación, estimaciones de tráfico, condiciones climáticas y calidad de construcción. Lo ideal sería que, estos valores se determinen en base a mediciones reales en condiciones locales. El Apéndice EE de la Guía AASHTO proporciona una guía para desarrollar este valor, lo cual no es una tarea fácil.

Sin embargo, en ausencia de mediciones, la Guía provee recomendaciones en función de las consideraciones del tráfico futuro de diseño.

Para el caso de pavimentos flexibles, el rango fijado por la norma varía entre 0.40 y 0.50, sin embargo, recomienda valores entre 0.45 a 0.49 también dependiendo de la confianza que tenga el diseñador en su determinación de cargas y tráfico, comentando que los valores de 0.45 o menores únicamente deberían utilizarse si se dispone de mediciones precisas de tráfico y cargas. En pavimentos rígidos el rango varía entre 0.30 y 0.40, recomendándose valores entre 0.35 a 0.39.

En ausencia de mediciones precisas el IBCH recomienda el uso de 0.39 para pavimentos rígidos y 0.49 para pavimentos flexibles.

Se asumió una Confiabilidad $S_o=0.49$.

3.6.4.3.6. Numero estructural.

El número estructural (SN por sus siglas en inglés) es un valor originalmente concebido como adimensional, que representa la capacidad requerida por un pavimento flexible para soportar las cargas impuestas por el tráfico y bajo las condiciones que expresan los datos de diseño. El valor no tiene un significado físico, tratándose más bien de una medida relativa de comparación. Para el cálculo de espesores de las capas del paquete estructural, es necesario determinar previamente el Número Estructural SN, para este propósito se utilizó el Software DIPAV - IBCH, que está fundamentado en el método AASHTO versión 1993.

3.6.4.3.7. Coeficiente estructural de capa.

De la Guía de Diseño AASHTO-93, Parte II y las figuras 2.5 carpeta de asfalto, 2.6 para base granular y 2.7 para sub base granular respectivamente se han obtenido los coeficientes estructurales de capa de: 0.42, para carpeta de concreto asfáltico en caliente; 0.13 para base granular con un CBR de 80 % y 0.12 para una sub base de suelo granular con un CBR de 40%.

Es importante aclarar que el espesor de una capa de Tratamiento Superficial es despreciable en cuanto se refiere al porcentaje de SN absorbido, motivo por el cual se desprecia su aporte estructural, pero tiene gran efecto en la base y sub base, ya que reduce la entrada de agua en la estructura del pavimento.

3.6.4.3.8. Coeficiente de drenaje.

El efecto del drenaje en la vida de un pavimento para pavimentos flexibles se cuantifica a través del uso de un coeficiente de drenaje (m_i). Este factor ha sido integrado en las ecuaciones de número estructural como un modificador al coeficiente de capa (a_i) y al espesor de la capa (d_i). El coeficiente de drenaje sólo tiene sentido al considerar los efectos de drenaje en bases y sub bases no tratadas. El posible efecto del drenaje en la superficie de una pista de concreto 59 asfáltico y en cualquier capa estabilizada no se considera. De este modo, se ha considerado para todas las capas un valor $m_i = 1$

Se asumió valores $m_1=1$, $m_2=0.9$, $m_3=0.9$

3.6.4.3.8. Resultados del cálculo de paquete estructural pavimento flexible.

DIPAV Software de Diseño de Pavimentos Guía de Diseño AASHTO - 1993

Nombre: Pavimento Flexible
Empresa: Univ. Fernando Colque Huanca
Proyecto: Zona Montes - Horno

Pavimento flexible		
Serviciabilidad Inicial (P_o)	4.2	-
Serviciabilidad Final (P_t)	2.5	-
Módulo Resiliente de la Subrasante (M_r)(KPa) - (psi)	64,224.66	9,315
Confiabilidad (R)(%)	80	-
Desviación Estándar (S_o)	0.49	-
Número de Ejes Equivalentes ESALs	143,920.35	-
Número de Etapas de Construcción	2	-
Número Estructural (mm) (pulg)	60	2.36

Diseño especificado

Nombre de Capa	Coeficiente Estructural (a_i)	Coeficiente de Drenaje (m_i)	Módulo de Elasticidad (kpa)	Espesor Especificado (mm)	Espesor Calculado (mm)	Número Estructural (mm)	Espesor Asumido (mm)
CA	0.44	1	2,100,000		89	39	75
B	0.13	0.9	185,000		79	9	100
SB	0.12	0.9	110,000		105	11	150
Número Estructural Alcanzado		61					
Número Estructural Requerido		60					

3.6.4.3.8. Resultados del cálculo de paquete estructural TDS.

Valga la redundancia y aclarar que el espesor de una capa de Tratamiento Superficial es despreciable en cuanto se refiere al porcentaje de SN absorbido, motivo por el cual se desprecia su aporte estructural, pero tiene gran efecto en la base y sub base, ya que reduce la entrada de agua en la estructura del pavimento. (Según manual de DIPAV).

Por el cual se asume un espesor de rodadura para TSD de 25 cm

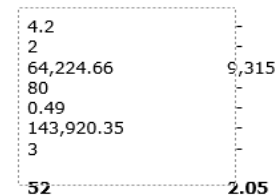
DIPAV Software de Diseño de Pavimentos Guía de Diseño AASHTO - 1993

Nombre: Tratamiento Superficial Doble
Empresa: Univ. Fernando Colque Huanca
Proyecto: Zona Monte - Hornos

TSD

Serviciabilidad Inicial (Po)
Serviciabilidad Final (Pt)
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi)
Confiabilidad (R)(%)
Desviación Estándar (So)
Número de Ejes Equivalentes ESALs
Número de Etapas de Construcción

Número Estructural (mm) - (pulg)



Diseño especificado

Nombre de Capa	Coefficiente Estructural (ai)	Coefficiente de Drenaje (mi)	Módulo de Elasticidad (kpa)	Espesor Especificado (mm)	Espesor Calculado (mm)	Número Estructural (mm)	Espesor Asumido (mm)
Base	0.14	0.9	185,000		337	42	200
Sub Base	0.12	0.9	110,000		92	10	250
Número Estructural Alcanzado		52					
Número Estructural Requerido		52					

3.6.4.3.9. Resumen de resultados.

Tabla 55 Resumen de resultados del paquete estructural

Alternativas	Tipo	CBR de diseño (%)	Longitud del tramo (km)	Capa sub-base (cm)	Capa base (cm)	Capa de rodadura (cm)	Total paquete estructural (cm)
Alternativa 1	Flexible	6.21	5.296	15	10	7.5	32.5
Alternativa 2	TSD	6.21	5.296	25	20	2.5	47.5

Fuente: Elaboración Propia

3.6.5. Presupuesto del proyecto

3.6.5.1. Lista de Ítems.

Tabla 56 Lista de ítems

Nº	Lista de Items	Unidad
Obras Preliminares		
1	Movilización y Desmovilización	glb
2	Instalación de Faenas	glb
3	Replanteo y control topográfico	km
4	Limpieza, Desbroce, desbosque y destronque	ha
5	Provisión y Colocado letrero de obras	pza
Movimiento de Tierras		
6	Excavación de tierra común	m3
7	Sobreacarreo	m3
8	Conformación de Terraplén	m3
Conformado del paquete estructural		
9	Transporte de Materiales Clasificados o Triturados	m3
10	Provisión y Conformación de Capa Sub Base	m3
11	Provisión y Conformación Capa Base	m3
12	Imprimación Bituminosa	m2
13	Tratamiento Superficial Doble	m2
Obras de arte menor		
14	Replanteo y control obras de arte menor	pza
15	Excavación no clasificada C/Maq P/Obras de arte	m ³
16	Piso de Cemento + empedrado P/Alcantarillas	m ³
17	Colocación Capa Base Arena Seleccionada	m ³
18	Hormigón Ciclópeo 33% PD para estructuras	m ³
19	Provisión y colocado de Chapa ARMCO D=0.8 M	m
20	Provisión y colocado de Chapa ARMCO D=1 M	m
21	Provisión y colocado de Chapa ARMCO D=1.2 M	m
22	Relleno compactado manual S/Material de relleno	m ³
23	Cuneta Revestida de Mampostería de Piedra	m
Señalización		
24	Señal Preventiva Cuadrangular 0.60x0.60 m	pza
25	Señalización Restrictiva Rectangular 0.60x0.90 m	pza
26	Pintado de Calzada línea continua Blanca E=0.15 m	m
Entrega de obra		
27	Limpieza General de la obra	glb
28	Placa de entrega de Obras	pza

Fuente: Elaboración Propia

3.6.5.2. Cálculos métricos.

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

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

Tabla 57 Resumen de cálculos métricos

PLANILLA DE CÓMPUTOS MÉTRICOS							
	Proyecto :	DISEÑO DE INGENIERIA MEJORAMIENTO CRUCE MONTE HORNOS					
	Código de Proyecto :	CIV 502/2025			Corresponde a semestre:		2
	Departamento :	TARIJA			Elaborado por: Univ. Fernando Colque H. Verificado por: Tutor		
	Entidad Contratante:	U.A.J.M.S.					
M01	M010- Obras Preliminares						
Nº	DESCRIPCION	UD.	Nº de Veces	AREA (m2)	PARCIAL (m)	TOTAL ITEM	OBSERVACIONES
1	Movilización y Desmovilización					1.00	
		glb					
2	Instalación de Faenas					1.00	
		glb					
3	Replanteo y control topográfico					5.30	
		km					
4	Limpieza, Desbroce, desbosque y destronque					5.30	
		ha					
5	Provisión y Colocado letrero de obras					2.00	
		glb					
M02	M02 - Movimiento de Tierras						
1	Excavación de tierra común					20289.02	
		m³					
2	Sobreacarreo					4213.75	
		m³					
3	Conformación de Terraplén					24502.77	
		m³					
M03	M03 - Conformado del paquete estructural						
1	Transporte de Materiales Clasificados o Triturados					21008.07	
		m³					
2	Provisión y Conformación de Capa Sub Base					12640.49	
		m³					
3	Provisión y Conformación Capa Base					8367.58	
		m³					
4	Imprimación Bituminosa					40549.20	
		m²					
5	Tratamiento Superficial Doble					40549.20	
		m²					

M04	M04 - Obras de arte menor						
1	Replanteo y control obras de arte menor					17.00	
		pza					
2	Excavación no clasificada C/Maq P/Obras de arte					723.77	
	Alcantarillas de paso	m ³					
	Alcantarillas de alivio						
3	Piso de Cemento + empedrado P/Alcantarillas					37.23	
	Alcantarilla de Paso	m ³					
	Alcantarillas de alivio						
4	Coloc Capa Base Arena Seleccionada					12.41	
	Alcantarilla de Paso	m ³					
	Alcantarillas de alivio						
5	Hormigón Ciclópeo 33% PD para estructuras					165.94	
	Alcantarillas De paso	m ³					
	Alcantarillas de Alivio						
6	Provisión y Colocado de Chapa ARMCO D=0.8 M					60.00	
	Alcantarillas de Alivio	m					
7	Provisión y Colocado de Chapa ARMCO D=1 M					79.00	
	Alcantarillas	m					
8	Provisión y Colocado de Chapa ARMCO D=1.2 M					101.00	
	Alcantarillas	m					
9	Relleno compactado manual S/Material de relleno					321.02	
	Alcantarillas de paso	m ³					
	Alcantarillas de alivio						
10	Cuneta Revestida de Mampostería de Piedra					4052.00	
		m					
M05	M05 - Señalización						
1	Señal Preventiva Cuadrangular 0.60x0.60 m					20.00	
		pza					
2	Señalización Restrictiva Rectangular 0.60x0.90 m					20.00	
		pza					
3	Pintado de Calzada línea continua Blanca E=0.15 m					10592.44	
		m					
M06	M06 - Entrega de obra						
1	Limpieza General de la obra					1.00	
		pza					
2	Placa de entrega de Obras					2.00	
		pza					

Fuente: Elaboración Propia

3.6.5.3. Presupuesto general.

Tabla 58 Presupuesto general

Proyecto: Diseño de ingeniería mejoramiento cruce Monte - Hornos

Cliente: U.A.J.M.S.

Lugar: Yesera Sur - Tarija

Fecha: 01/nov/2025

Tipo de cambio: 6.96

Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
> M01 - Obras Preliminares					184,195.82
1	Movilización y Desmovilización	glb	1.00	38,347.98	38,347.98
2	Instalación de faenas	m²	1.00	104,780.68	104,780.68
3	Replanteo y control Topográfico	km	5.30	2,511.28	13,309.78
4	Limpieza, Desbroce, desbosque y destronque	ha	5.30	4,355.66	23,085.00
5	Provisión y Colocado letrero de obras	pza	2.00	2,336.19	4,672.38
> M02 - Movimiento de Tierras					1,297,407.31
6	Excavación C/ maquinaria suelo común	m³	20,289.02	30.85	625,916.27
7	Sobreacarreo	m³	4,213.75	3.40	14,326.75
8	Conformación de terraplén	m³	24,502.77	26.82	657,164.29
> M03 - Conformado del paquete estructural					6,359,508.73
9	Transporte de Materiales Clasificados o Triturados	m³	210,008.07	2.47	518,719.93
10	Provisión y Conformación de Capa Sub Base	m³	12,640.49	134.32	1,697,870.62
11	Provisión y Conformación Capa Base	m³	8,367.58	90.33	755,843.50
12	Imprimación Bituminosa	m²	40,549.20	16.23	658,113.52
13	Tratamiento superficial doble	m²	40,549.20	67.30	2,728,961.16
> M04 - Obras de arte menor					1,141,881.76
14	Replanteo y control de obras de arte menor	pza	17.00	576.39	9,798.63
15	Excavación no clasificada C/Maq P/Obras de arte	m³	723.77	31.21	22,588.86
16	Piso de Cemento + empedrado P/Alcantarillas	m³	37.23	145.62	5,421.43
17	Coloc. Capa Base Arena Seleccionada	m³	12.41	157.63	1,956.19
18	Hormigón Ciclópeo 33% PD para estructuras	m³	165.94	1,006.19	166,967.17
19	Provisión y colocado de Chapa ARMCO D=0.8 m	m	60.00	1,492.05	89,523.00
20	Provisión y colocado de Chapa ARMCO D=1 m	m	79.00	2,105.76	166,355.04
21	Provisión y colocado de Chapa ARMCO D=1.2 m	m	101.00	49.07	4,956.07
22	Relleno y compactado manual s/material de relleno	m³	321.02	120.99	38,840.21
23	Cuneta revestida de mampostería de piedra	m	4,052.00	156.83	635,475.16
> M05 - Señalización					169,798.09
24	Señal preventiva cuadrangular 0.60x0.60 m	pza	20.00	1,310.87	26,217.40
25	Señalización restrictiva rectangular 0.60x0.90 m	pza	20.00	1,580.93	31,618.60
26	Pintado de calzada línea continua blanca e=0.15 m	m	10,592.44	10.57	111,962.09
> M06 - Entrega de obra					45,035.70
27	Limpieza general de la obra	glb	1.00	41,960.30	41,960.30
28	Placa entrega de obras	pza	2.00	1,537.70	3,075.40
Total presupuesto:					9,197,827.41

Son: Nueve Millon(es) Ciento Noventa y Siete Mil Ochocientos Veintisiete con 41/100 Bolivianos

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El proceso de diseño integró criterios geométricos, geotécnicos, hidrológicos y de pavimentación, asegurando que el mejoramiento proyectado incremente la eficiencia operativa del tramo y optimice las condiciones de transitabilidad vehicular. Como resultado, se definió una solución técnicamente viable y sostenible que responde a las necesidades actuales de los usuarios y contribuye al desarrollo regional mediante una infraestructura vial segura, continua y confiable
- La realización de los estudios topográficos, hidrológicos, geotécnicos y de tránsito proporcionó la información esencial para comprender las condiciones del tramo Horno–Montes. Estos datos permitieron sustentar técnicamente el diseño de la ingeniería, asegurando que las soluciones propuestas se adapten al terreno, al comportamiento hídrico, a la capacidad del suelo y a las demandas de tránsito, cumpliendo con las normas de la ABC.
- El diseño del paquete estructural, el trazo geométrico, el sistema de drenaje del tramo caminero permitió definir una solución vial integral acorde con las normas de la ABC. Cada componente fue dimensionado según las condiciones del terreno y del tránsito, garantizando una vía segura, funcional y capaz de operar de manera eficiente a lo largo de su vida útil.
- La verificación de los resultados obtenidos confirmó que cada componente del diseño cumple con los lineamientos establecidos por las normas de la ABC. Esta revisión aseguró la coherencia técnica del proyecto y garantizó que las soluciones propuestas se ajusten a los estándares requeridos para un desempeño seguro y eficiente del tramo caminero.
- La evaluación de las alternativas de diseño permitió identificar la opción más favorable para su ejecución, considerando criterios técnicos, operativos y económicos. La alternativa seleccionada ofrece el mejor equilibrio entre funcionalidad, seguridad y eficiencia, garantizando una solución viable y alineada con las normas de la ABC.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda que el diseño desarrollado sea complementado con un plan de monitoreo periódico, que permita evaluar el comportamiento real del tramo frente a las condiciones climáticas y el crecimiento del tránsito en caso de no ejecutarse con brevedad.
- Se recomienda actualizar periódicamente la información topográfica, hidrológica, geotécnica y de tránsito para garantizar que futuras intervenciones o mejoras en el tramo se basen en datos recientes y confiables.
- Se recomienda tener en cuenta puntos críticos con los radios mínimos y otros aun inferiores al mínimo, el cual revisando bibliografía se pudo dar sustento y solución técnica ya que al tratarse de una zona de montaña nos limitaba otras soluciones por lo accidentado de la zona en estudio.
- Se recomienda mantener una revisión constante de otras bibliografías y a su vez softwares para obtención de resultados más rápidos. Bajo respaldo técnico constructivo.
- Se sugiere reevaluar la alternativa seleccionada durante la etapa de ejecución, considerando factores como costos reales, disponibilidad de materiales y condiciones climáticas. Esto permitirá confirmar que sigue siendo la opción óptima o, en caso necesario, adoptar ajustes oportunos que aseguren eficiencia y viabilidad.