

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

El Diseño geométrico es la parte más importante del proyecto de una vía, estableciendo que, en base a las condiciones y factores existentes se realizara la configuración geométrica definitiva para satisfacer al máximo los objetivos de funcionalidad, seguridad, comodidad, integración en su entorno, economía y elasticidad de la carretera.

El tramo San Nicolas-Río Bermejo del municipio de Caraparí, actualmente es una brecha, que solo es usado por la población que viven a los alrededores, no cuenta con estudios, ni con un diseño adecuado que cumplan los diferentes parámetros que establece la norma ABC.

Se pretende, realizar un diseño de ingeniería para el mejoramiento del camino San Nicolas – Río Bermejo hasta la progresiva 5+000 del municipio de Caraparí, en base a las normas y parámetros vigentes, de tal manera se pueda obtener una mejor transitabilidad, comodidad y seguridad para los vehículos de la zona.

Para obtener un diseño adecuado se realizará un levantamiento topográfico, estudios de suelos, estudios hidrológicos y un estudio de tráfico del tramo cuestión, y establecer el tipo de camino que se acomode a las condiciones dadas en la zona.

Una vez obtenido estos datos se empezará el diseño geométrico de la carretera estableciendo parámetros importantes para el mismo, tomando en cuenta la normativa vigente y de esa manera realizar el diseño planímetro, altimétrico del camino como así también diseñar las secciones transversales y obtener el cálculo de la cantidad de material para corte y relleno que todo dependerá del trazo definitivo de la vía.

Para el diseño estructural se pretende realizar los cálculos de las diferentes capas que compone el proyecto de una carretera como son la capa de rodadura, sub base, base, o las que sean necesarias que dependerá de los estudios de suelos y el tráfico que interviene en este tramo.

En la etapa de diseño de drenaje se examinarán las características climatológicas del lugar, así como los caudales de las crecidas y otros factores de importancia para el diseño de las

obras de arte que permitan un adecuado sistema de drenaje en la vía para su protección y correcto servicio.

Luego se determinarán los cálculos métricos de los ítems de la carretera y presupuestos del mismo, el análisis de precios unitarios, así como las especificaciones técnicas que se deberán adecuar y cumplir con el objetivo del proyecto.

Realizando un mejoramiento del tramo, afectará de manera positiva a la integración de las comunidades cercanas, además que servirá para incrementar la actividad productiva de la región, beneficiando a corto plazo a la comercialización de los productos de las familias del lugar.

1.2 Justificación

Los caminos en desarrollo son elementos esenciales para el desarrollo social y económico de las comunidades, siendo una prioridad tener un camino que sea seguro y transitable, para la explotación de la producción que se dispone.

En la actualidad el tramo San Nicolas – Río Bermejo no cuenta con un camino en óptimas condiciones que permita la normal circulación y vinculación de los pobladores de la región con el resto de las comunidades. Solamente existe una brecha que fue aperturada en base a las inclinaciones del terreno, en gran parte es una senda muy precaria por lo que el tramo en general no reúne las condiciones necesarias de transitabilidad bajo ninguna situación y mucho menos en época de lluvias.

En la brecha se observa la falta de mantenimiento, haciendo difícil su recorrido, como también se nota la falta de un sistema de drenaje, para la evacuación del agua y por ende con estas falencias la carretera es deteriorada constantemente.

Figura 1.1 Imágenes de la brecha aperturada



Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

Lo que se busca es realizar el Diseño de Ingeniería para el mejoramiento del camino, tramo San Nicolas – Río Bermejo hasta la progresiva 5+000 del municipio de Caraparí.

Por lo tanto, ante la necesidad de contar con un camino que cumpla con las normas correspondientes al diseño de vías, se hace indispensable contar con un proyecto de ingeniería, por lo que este estudio pretende coadyuvar la necesidad de contar con un estudio que permita conocer la mejor alternativa de trazo y que este cumpla con la condición técnica y económica más favorable.

La ejecución del proyecto permitirá garantizar la implementación de la transitabilidad vehicular, 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, ganaderos entre otros, de manera que estos pueden llegar a los mercados de manera competitiva con menores precios, en condiciones óptimas y en menor tiempo debido al ahorro de transporte.

Y por último indicar que todo pueblo que se registra y constituye con sus habitantes y las actividades que desarrollan estos, justifican ser tomados en cuenta y ser atendidos por todas las autoridades en turno, de acuerdo con sus necesidades y brindarles de esta manera una mejor vida a los pobladores de la zona.

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Situación problemática

Los caminos vecinales constituyen una necesidad básica para la sociedad, ya que viene a constituirse en el medio de comunicación más importante, siendo impredecible para el desarrollo e integración de las mismas, la no existencia de caminos vecinales o caminos en deficiente funcionamiento evitarán que los productores puedan trasladar sus productos a los diferentes mercados de abasto por esta razón se ve impedido el crecimiento de los ingresos económicos.

Estos caminos deben construirse de acuerdo a normas, para cubrir las necesidades de corto y largo plazo de las poblaciones y los usuarios, pero a la vez no deberían estar sobredimensionados, lo que significa que los caminos deberían construirse duraderos, eficientes en costos y con impactos ambientales reducidos al mínimo; requieren de una combinación de normas apropiadas de diseño, drenaje superficial adecuado, rellenos, cortes estables y medidas de control de erosión, además de un mantenimiento adecuado y eficiente así como de un costo moderado.

Durante la operación de las carreteras, en ellas inciden diversos factores que afectan su desempeño y paulatinamente van disminuyendo los niveles de servicio para los que fueron proyectadas. Los factores principales son: el tipo de vehículos y su peso, así como el número de vehículos que transitan una carretera en un periodo determinado, ocasionando deterioros, deformaciones y agrietamientos en la superficie de rodadura; los fenómenos meteorológicos, como la precipitación pluvial, la radiación solar y el viento, que afectan gradualmente la resistencia y durabilidad de las estructuras; el tipo y la calidad de materiales utilizados en la construcción, que normalmente presentan el comportamiento previsto y una durabilidad limitada, conforme a lo proyectado.

1.3.2 Problema

¿Cómo el diseño de ingeniería mejora el camino ubicado en el tramo San Nicolas-Río Bermejo basado en las normas vigentes, el cual subsanará las falencias que presenta?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar el mejoramiento del camino SAN NICOLAS - RÍO BERMEJO hasta la progresiva 5+000 del municipio de Caraparí, en base a los parámetros vigentes y normativa de la ABC, de tal manera se pueda obtener una transitabilidad y una serviciabilidad durante todo el año.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar el estudio topográfico, hidrológico, estudio de suelos y de tráfico del tramo caminero.
- Diseñar los elementos geométricos y una superficie de rodadura , tomando como guía la normativa vigente, como así también trazar las obras de arte menor para facilitar el flujo de aguas.
- Determinar los volúmenes de movimientos de tierra de terraplenes, cortes, préstamos y la cantidad de material excedente.
- Elaborar un presupuesto general de toda la infraestructura, incluyendo todas las actividades requeridas.

1.5 Identificación del tipo de investigación

El proyecto se caracteriza por ser un tipo de investigación descriptiva. Donde se proyecta realizar el “Diseño de ingeniería mejoramiento del camino San Nicolas - Río Bermejo hasta la progresiva 5+000 del municipio de Caraparí”

1.6 Alcance del proyecto

El alcance de este proyecto consiste en realizar el diseño geométrico y estructural, sus obras de arte menores y un análisis de costos para el camino San Nicolas - Río Bermejo hasta la progresiva 5+000 del municipio de Caraparí.

En el diseño se llevará a cabo actividades de inspección y reconocimiento de campo para luego mediante estudios más a fondo en gabinete, obtener el relieve topográfico de la zona y en base a estas curvas de nivel procesadas en gabinete se podrá llegar a analizar las

ventajas y desventajas planteadas en el diseño con alineaciones planimétricas y altimétricas.

Al realizar un estudio hidrológico de las distintas cuencas que llevan sus cursos de agua hacia la plataforma de la carretera considerando las estaciones pluviométricas se encontrarán los caudales máximos, y de esta manera determinar las dimensiones de las cunetas y alcantarillas del sistema de drenaje de la carretera para considerar si fuera necesario la construcción de obras de arte menor o mayor, tomando en cuenta el tipo de suelo, características y la geología de la zona para de esta manera poder obtener el mejor trazo posible con los conocimientos adquiridos.

Se efectuará un muestreo de suelos a lo largo del tramo con pequeñas excavaciones, tratando que estas reflejen las características del terreno y posteriormente realizar un análisis y determinar las propiedades físicas y mecánicas que servirán como base para el diseño estructural que exigen algunos métodos para su dimensionamiento.

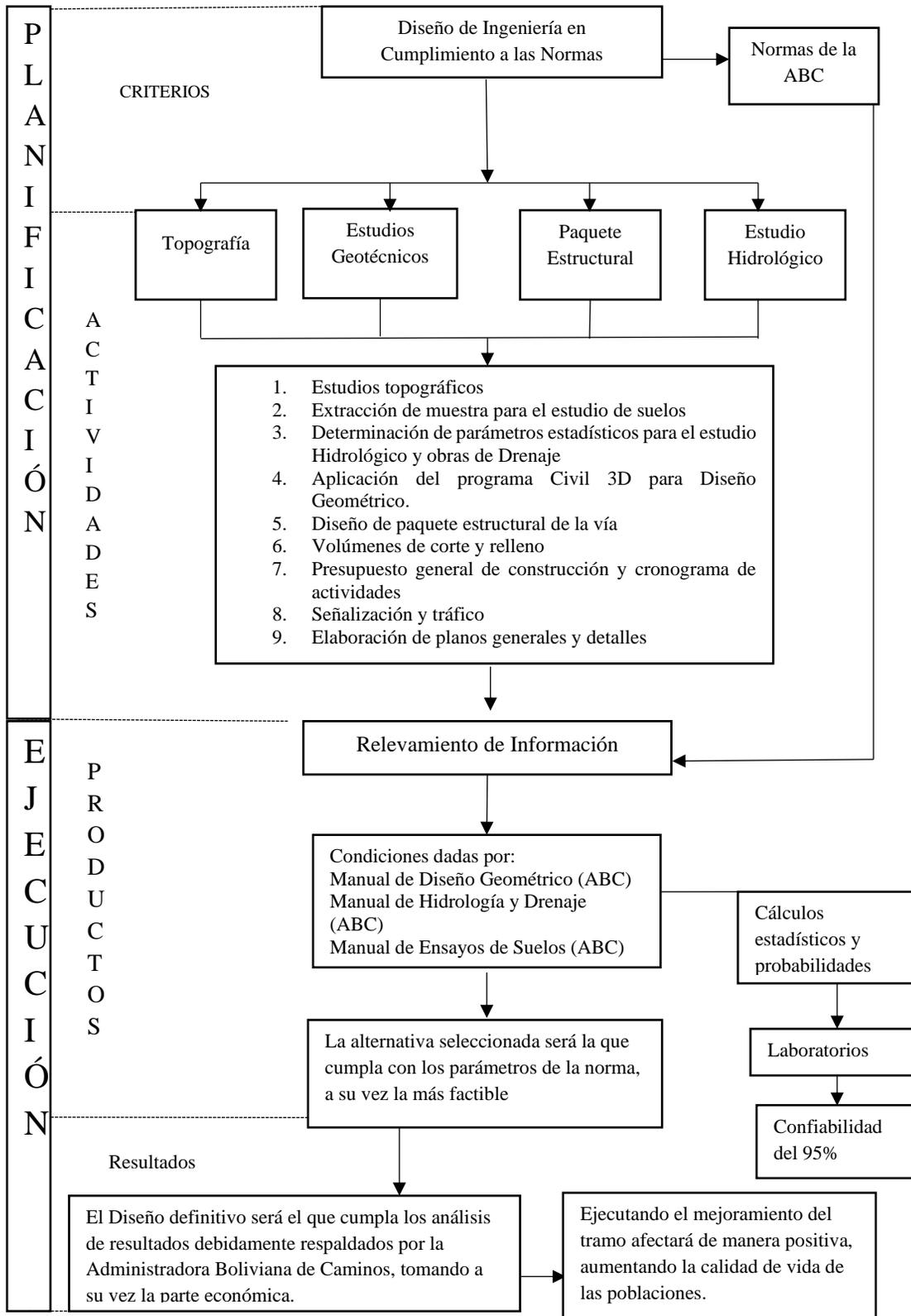
Para el diseño del paquete estructural realizaremos aforos vehiculares para determinar los ejes equivalentes y a su vez los espesores de las diferentes capas de la carpeta asfáltica considerando todas aquellas variables que influyan en cuidar la vida útil de la carretera, considerando la mejor opción para el tipo de suelo que tenemos en esta zona demostrando que la alternativa elegida es la viable con un análisis de costos y presupuestos de obra derivados del análisis de precios unitarios.

El diseño estructural estará limitado únicamente al cálculo de pavimento flexible por el método AASHTO.

Se definirá una sección transversal tipo con sus diferentes componentes para luego calcular las áreas de las secciones y sus respectivos volúmenes, después del análisis realizado se ploteará un diagrama de masas.

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

• Esquema de actividades que se pretende alcanzar



CAPÍTULO II
FUNDAMENTO TEÓRICO

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Diseño geométrico

2.1.1 Definición de 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 libro 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.

2.1.2 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.

Lo que interesa es 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 de 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, 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”.

2.1.3 Sistema de clasificación

La clasificación de la ABC para diseño de caminos consulta seis categorías divididas en dos grupos:

- Carreteras: Autopistas, autorrutas y primarias
- Caminos: Colectores, locales y de desarrollo

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.

2.1.3.1 Categoría de las vías

Tabla 2.1 Clasificación funcional para diseño de carreteras

Categoría		Sección transversal		Velocidades de proyecto (km/h)	Código tipo
		Nº carriles	Nº calzadas		
Autopista	(O)	4 ó UD	2	120 – 100 – 80	A (n) – xx
Autorruta	(I.A)	4 ó UD	2	100 – 90 – 80	AR (n) – xx
Primario	(I.B)	4 ó UD	2 (1)	100 – 90 – 80	P (n) – xx
		2 BD	1	100 – 90 – 80	P (2) – xx
Colector	(II)	4 ó UD	2 (1)	80 – 70 – 60	C (n) – xx
		2 BD	1	80 – 70 – 60	C (2) – xx
Local	(III)	2 BD	1	70 – 60 – 50 – 40	L (2) – xx
Desarrollo	(IV)	2 BD	1	50 – 40 – 30*	D – xx

- UD: Unidireccionales - (n) Número total de carriles

- BD: Bidireccionales - xx Velocidad de proyecto (km/h)

* Menor que 30 km/h en sectores puntuales conflictivos

Fuente: Manual ABC

2.1.4 Velocidad de diseño

La velocidad directriz o velocidad de diseño es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con absoluta seguridad, inclusive cuando la plataforma esta mojada y considerando un conductor de habilidad media, esta velocidad es la que se asume para determinar y relacionar entre si las características del diseño geométrico, tales como los radios de curvatura, la visibilidad, peraltes y todo lo que corresponde al alineamiento horizontal y vertical, además es muy importante, ya que es uno de los principales factores que determina el costo de proyecto.

En terreno plano y ondulado se justifican velocidades más altas que en zonas montañosas y muy montañosas, porque la incidencia de costos de construcción es menor.

De acuerdo a la categoría asumida para la carretera y de acuerdo al manual de la ABC se tiene los siguientes rangos de velocidades en la función de la topografía.

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

2.1.5 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.

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

- Categoría de la ruta
- Topografía del área
- Velocidad de proyecto
- V85 % 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.

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

2.1.5.1 Alineamiento horizontal

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

2.1.5.1.1 Distancia de frenado

Llamada también distancia de frenado “Df” un vehículo en movimiento, ante la aparición de un obstáculo 0,20m de alto que es percibido por el conductor sobre la superficie del camino necesita de una distancia suficiente para detenerse compuesto por dos factores: la distancia que recorre el vehículo desde el momento en que el conductor observa el obstáculo hasta que aplica los frenos, y la distancia recorrida durante el frenado.

$$Df = d' + d''$$

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

Donde:

Df = Distancia de frenado (m)

V = Velocidad de proyecto (km/h)

f₁ = Coeficiente de roce rodante, pavimento húmedo

i = Pendiente longitudinal (m/m)

t = Tiempo de reacción y percepción (seg.)

La distancia de frenado sobre una alineación recta de pendiente uniforme se puede obtener según el cuadro proporcionado por la norma de la administradora de carreteras de Bolivia.

Tabla 2.2 Distancia de frenado

Vp	t	F _l	dt	Df	Df (m)		V
Km/h	s	---	m	m	dt+df	Adopt.	Km/h
30	2,00	0,42	16,70	8,40	25,10	25	30
35	2,00					31	35
40	2,00	0,42	22,20	15,20	37,40	38	40
45	2,00					44	45
50	2,00	0,41	27,80	24,00	51,80	52	50
55	2,00					60	55
60	2,00	0,46	33,30	35,50	68,80	70	60
65	2,00					80	65
70	2,00	0,38	38,90	50,80	89,70	90	70
75	2,00					10	75
80	2,00	0,36	44,40	70,00	114,40	115	80
85	2,00					130	85
90	2,00	0,34	50,00	93,90	143,80	145	90
95	2,00					166	95
100	2,00	0,33	55,50	119,40	174,90	175	100
105	2,00					19	105
110	2,00	0,32	61,10	149,00	210,00	210	110
115	2,00					230	115
120	2,00	0,31	66,60	183,00	249,60	250	120
125	2,00					275	125
130	2,00	0,295	72,20	225,70	297,90	300	130

Fuente: Manual ABC

Con la velocidad de proyecto con un valor de 30 Km/h, podemos calcular la distancia mínima de frenado en horizontal que es de 25 m.

2.1.5.1.2 Distancia de visibilidad de sobrepaso

Llamada también distancia de adelantamiento “Da” referida a la distancia necesaria para que un vehículo pueda pasar a otro u otros que desplazan por el mismo carril a velocidad inferior a la del proyecto.

$$Da = d1 + d2 + d3$$

$$m = V1 - V2 \quad S = 0,189 \cdot (Vp - m) + 6$$

$$Da = \frac{(Vp - m)}{3,6} \cdot t1 + 2 \cdot S + \frac{(Vp - m)}{3,6} \cdot t2 + \frac{Vp}{3,6} \cdot t2$$

Donde:

Da = Distancia de adelantamiento (m)

V1 = Velocidad de proyecto (km/h)

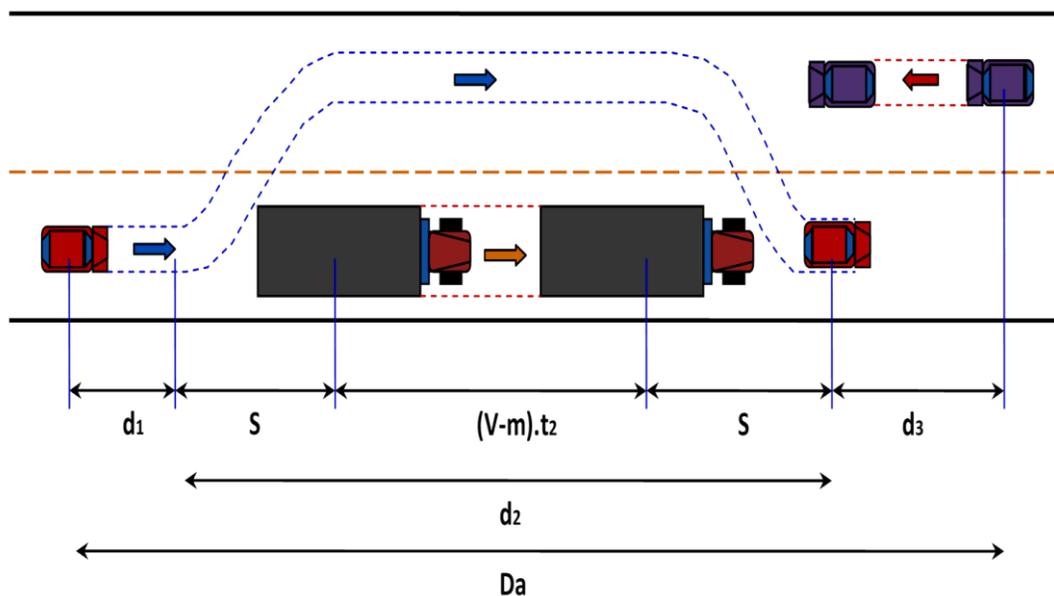
m = Diferencia de velocidades entre los dos vehículos (km/h)

S = Distancia mínima entre los dos vehículos (m)

t1 = Tiempo de reacción y percepción para iniciar la maniobra (seg.)

t2 = Tiempo en el cual el vehículo sobrepasa (seg.)

Figura 2.1 Gráfica de la distancia de adelantamiento



Fuente: Elaboración propia

La distancia de visibilidad mínima de adelantamiento se define según el siguiente cuadro:

Tabla 2.3 Distancia mínima de adelantamiento

Vp (km/hora)	Distancia mínima de adelantamiento (m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

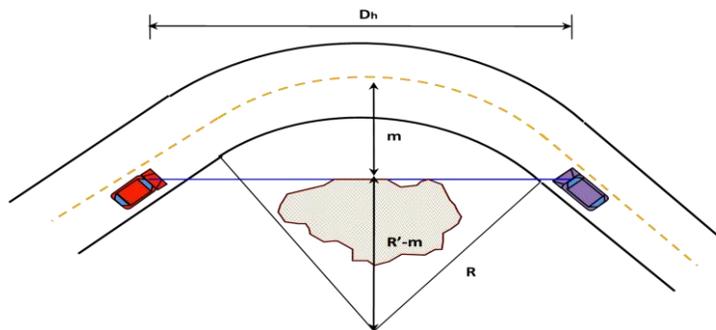
Fuente: Manual ABC

De acuerdo a la velocidad de proyecto será de 180 m.

2.1.5.1.3 Distancia de visibilidad horizontal en curva

Cuando un vehículo recorre una curva horizontal ocupando el carril interno, cualquier obstáculo que se encuentre cerca de la línea interna de la vía impide la visibilidad al conductor y por lo que la hace un tanto peligrosa, pudiendo ser los obstáculos el talud de corte, vegetación, cercos y edificios en el lado interno de la curva.

Figura 2.2 Gráfica de la visibilidad horizontal en curva



Fuente: Elaboración propia

$$m = R \left(1 - \cos \left(\frac{100 \cdot Dv}{\pi \cdot R} \right) \right)$$

$$R' = R - \frac{a_c}{2}$$

$$Dh = 2 \cdot \sqrt{R'^2 - (R' - m)^2}$$

Donde:

m = Despeje máximo

R = Radio de curvatura

Dv = Distancia de frenado o de adelantamiento

Dh = Distancia horizontal

R' = Diferencia del radio de curvatura y la media de ancho de carril interior

a_c = Ancho de carril

2.1.5.1.4 Radios mínimos

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

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

Donde:

R_{mín} = Radio mínimo (m)

V_p = Velocidad de proyecto (km/h)

e_{max} = Peralte máximo (%)

f = Coeficiente de roce rodante

Los radios mínimos se obtienen según el siguiente cuadro:

Tabla 2.4 Radios mínimos

Caminos colectores – Locales desarrollo			
Vp Km/hora	e _{max} (%)	f	R _{mín} (m)
30	7,00	0,215	25
40	7,00	0,198	50
50	7,00	0,182	80
60	7,00	0,165	120
70	7,00	0,149	180
80	7,00	0,132	250
Carreteras – Autopistas Autorrutas - Primarios			
80	8,00	0,122	250
90	8,00	0,114	330
100	8,00	0,105	425
110	8,00	0,096	540
120	8,00	0,087	700

Fuente: Manual ABC

Con la velocidad de proyecto de 30 km/h, el radio de curvatura mínimo del proyecto será de 25 m, como mínimo.

2.1.5.1.5 Peralte y coeficiente de fricción transversal máximo

El peralte constituye en una elevación de la calzada debido a esto el vehículo sigue una trayectoria de una recta o tangente y pasa a una curva, durante su trayectoria aparece la fuerza centrífuga que origina peligros de estabilidad del vehículo en movimiento.

Con la velocidad de proyecto de 30 km/h los peraltes adoptados serán de 7% y con un coeficiente de fricción de 0,215.

2.1.5.1.6 Sobreancho en curvas circulares

Los conductores en las curvas tienden a no seguir por el centro de su carril de circulación, las ruedas traseras no siguen la misma dirección que las delanteras por seguridad es necesario proporcionar a los carriles en curva, mayor ancho con relación a los tramos tangentes; este aumento se denomina sobreancho. El cálculo detallado del sobreancho en curvas circulares de carreteras y caminos se desarrolló mediante el análisis geométrico de las trayectorias que describen los diferentes vehículos, considerando el ancho de la calzada y los espacios libres adecuados (huelgas); los resultados obtenidos quedan bien representados por las expresiones simplificadas columna E(m), las que permiten calcular el ensanche total requerido en una calzada de dos carriles (bidireccional o unidireccional) con anchos de 7,0 y 6,0 m, empleando los parámetros de cálculo “Lo” para unidades simples (Camiones y Buses); L_1 y L_2 para unidades articuladas (Semitrailer) y el Radio R de la curva.

Tabla 2.5 Ensanche de la calzada E (m)

Calzada en recta 7 m (n=2) $0,50 \text{ m} \leq E \leq 3,00 \text{ m}$ $E = e_{i,int} + e_{ext}$ $h1=0,60 \text{ m}$ $h2= 0,40 \text{ m}$					
Tipo de vehículo Lt en m	Parámetro de cálculo m	E m	e.int m	e.ext m	Radios de límite m
Camión unid. Simple Lt=11,00 Bus de turismo Lt= 12,00	Lo=9,50	$(L_o^2/R) - 0,2$	0,65 E	0,35E	$30 \leq R \leq 130$
Bus de turismo Lt= 13,2 Lt= 14,0	Lo=10,50 Lo=10,60	$(L_o^2/R) - 0,2$	0,65E	0,35E	$35 \leq R \leq 160$
Semitrailer Lt= 16,40	L1=5,60 L2=10,00	$(L1^2L2^2)/R - 0,2$	0,70E	0,30E	$45 \leq R \leq 190$
Semitrailer Lt=18,60	L1=5,60 L2=12,20				$60 \leq R \leq 260$
Semitrailer Lt=22,40	L1=5,60 L2=15,50				$85 \leq R \leq 380$
Calzada en recta 6 m (n=2) $0,35 \text{ m} \leq E \leq 2,30 \text{ m}$ $h1=0,45 \text{ m}$ $h2= 0,05 \text{ m}$					
Camión Unid. Simple Lt=11,00 Bus corriente Lt= 12,00	Lo=9,50	$(L_o^2/R) - 0,15$	55E	0,45E	$30 \leq R \leq 450$
Bus de turismo Lt= 13,20 Lt= 14,00	Lo=10,50 Lo=10,60	$(L_o^2/R) - 0,15$	55E	0,45E	$35 \leq R \leq 550$
Semitrailer Lt= 16,40	L1=5,60 L2=10,00	$(L1^2L2^2)/R + 0,2$	55E	0,45E	$45 \leq R \leq 650$
Semitrailer Lt=18,60	L1=5,60 L2=12,20	$(L1^2L2^2)/R + 0,2$	55E	0,45E	$65 \leq R \leq 850$
Semitrailer Lt=22,40	L1=5,60 L2=15,50	No corresponde a caminos con calzada 60m			

Fuente: Manual ABC

Lt = Largo total del vehículo * Indica largo máximo legal unidades simples

(Camiones y Buses):

Lo = Distancia entre parachoques delantero y último eje trailer:

L1 = Distancia entre parachoques delantero y último eje camión tractor

L_2 = Distancia entre pivote mesa de apoyo y último eje del tandem trasero

Camión con Acoplado:

El conjunto con $L_t = 20,50$ m (máx. legal) puede operar en los ensanches diseñados para el semitrailer con $L_t = 18,60$ m y cualquier conjunto con $L_t \leq 19,50$ m puede hacerlo en los diseños para el semitrailer con $L_t = 16,40$ m.

2.1.5.1.7 Longitud máxima y mínima en rectas

- **Longitud máxima en rectas**

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

En caminos bidireccionales de dos carriles, a diferencia de lo que ocurre en carreteras unidireccionales, la necesidad de proveer secciones con visibilidad para adelantar justifica una mayor utilización de rectas importantes. Sin embargo, rectas de longitud comprendida entre $8V_p$ y $10V_p$, enlazadas por curvas cuya V_e sea mayor o igual que la V_{85} determinada según la tabla, cubren adecuadamente esta necesidad.

- **Longitud mínima en recta**

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.

➤ **Curva 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 expuesto en el acápite i no es posible, se podrán aceptar tramos rectos intermedios de una longitud no mayor que:

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

Siendo 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 siguiente tabla, 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:

$$Lr \text{ mín} = 1,4 * Vp$$

Tabla 2.6 Lr min entre curvas de distinto sentido

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

Fuente: Manual 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.

Tabla 2.7 Lr mín. entre curvas del mismo sentido

Vp (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 ABC

2.1.5.1.8 Curvas circulares

- **Curvas circulares simples**

Son aquellas que enlazan las tangentes correctas con un segmento de circunferencia de un radio definido desde un principio de circunferencia Pc hasta un fin de circunferencia Fc donde se tiene como dato ω , Rc.

Según la norma ABC se aplican curvas circulares cuando:

- Los caminos de desarrollo tienen una velocidad de proyecto igual a 30 km/h
- En cuya deflexión está comprendido entre 2 y 6 grados
- Cuyos radios superan los 1500m para caminos con velocidad de $V_p \leq 80$ km/h o 3000m para carreteras con velocidad de proyecto $V_p \geq 80$ km/h

Elementos de la curva circular simple

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

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

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

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

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

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

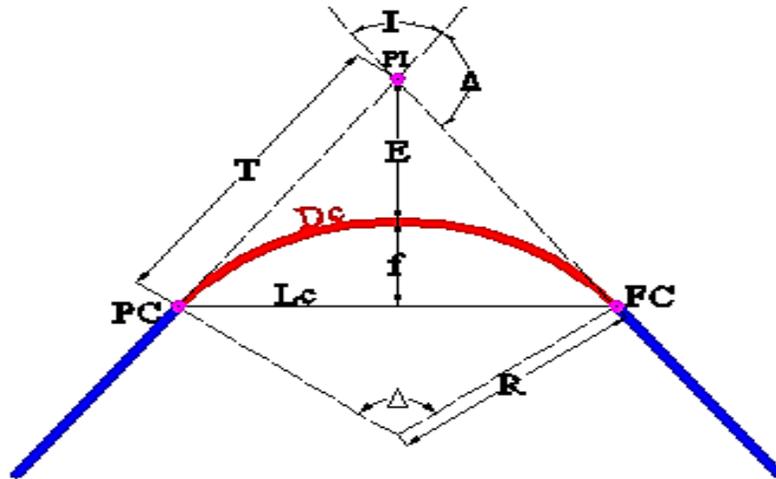
S: Bisectriz; distancia desde el vértice al punto medio, MC, del arco de círculo (m)

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

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

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

Figura 2.3 Elementos de curvas circulares simples



Fuente: Elaboración propia

Tangente: $T = R \cdot \tan\left(\frac{\omega}{2}\right)$

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

Flecha: $Mc = R \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\omega}{2}\right)\right)$

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

Longitud: $L = 2 \cdot R \cdot \sin\left(\frac{\omega}{2}\right)$

• **Curvas circulares 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.

Elementos de la curva circular de transición

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

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

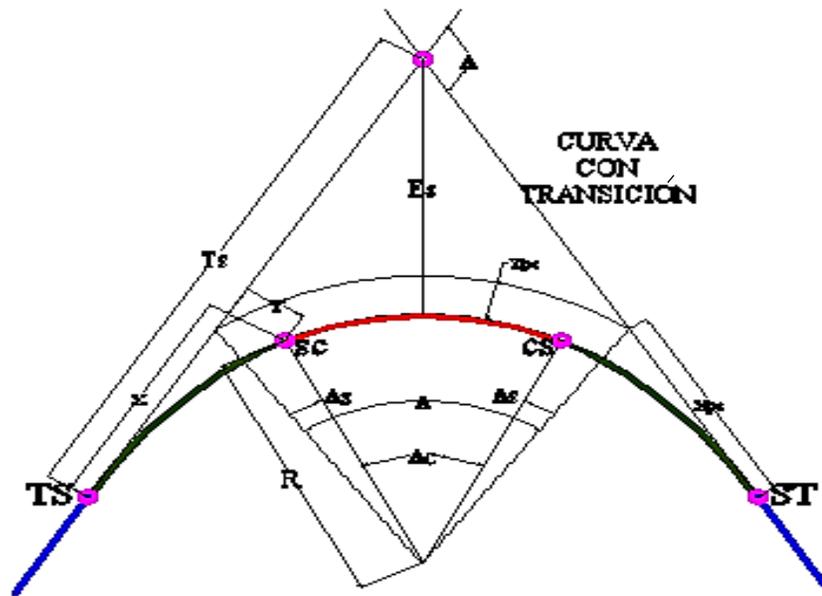
ω : Ángulo de deflexión entre ambas alineaciones, que se repite como ángulo del centro subtendido por el arco circular.

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

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

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

Figura 2.4 Elementos de curvas circulares de transición



Fuente: Elaboración propia

Longitud mínima de la espiral:

Ángulo de deflexión:
$$\Delta s = 57,2958 * \frac{L_{\text{mín}}}{2 * R}$$

Coordenadas de la espiral:
$$X = L - \frac{L^3}{40 * R^3}$$

$$Y = \frac{L^2}{6 * R}$$

Desplazamientos:
$$X_{pc} = X - R * \text{sen} \Delta s$$

$$Y_{pc} = Y - R * (1 - \text{cos} \Delta s)$$

Tangente: $Ts = (R + Ypc) * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) + Xpc$

Externa: $Es = (R + Ypc) * \left(\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1\right) + Ypc$

Desarrollo: $D = 2 * L + Dc$

2.1.5.2 Alineamiento vertical

2.1.5.2.1 Longitud mínima de curvas verticales

La longitud mínima de las curvas verticales está dada por:

$$2 * T(m) \geq [Vp (km/hora)]$$

$$2 * T(m) \geq 30$$

Es decir, el desarrollo mínimo de la curva vertical será el correspondiente al mínimo al número de metros que representa la velocidad de proyecto de la carretera, expresada en km/h. es decir que la longitud mínima será igual o mayor a la velocidad de proyecto cuando Df sea mayor a 2T calculada.

El criterio para este proyecto: Se tomará como punto crítico $2 * T (m) = 30$.

2.1.5.2.2 Inclinación de las rasantes

- **Pendientes máximas**

La pendiente máxima admisible de la rasante se define según el siguiente cuadro:

Tabla 2.8 Pendientes máximas de la rasante

Categoría	Velocidad de proyecto (km/hora)									
	< 30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10 a 12	10 a 9	9	-	-	-	-	-	-	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autorrutas	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4,5	-	4

Fuente: Manual ABC

Según nuestro tipo de carretera y velocidad de diseño adoptada, la pendiente máxima utilizada en el diseño será de 12%.

- **Pendiente mínima**

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

En general, es deseable que en los casos de secciones en corte o mixtas la carretera tenga una pequeña pendiente longitudinal, por lo menos del orden del 0,50%.

2.1.5.2.3 Curvas verticales

Ecuación paramétrica de la curva vertical

$$Y = K \cdot X^2$$
$$Y = \frac{\Theta}{2 \cdot (2T)} \cdot X^2$$

Donde:

Θ = Diferencia algebraica de las pendientes (m/m)

$2T$ = Longitud de la curva (m)

X = Distancia parcial desde PCV o FCV (m)

- **Curva cóncava**

$$Kc = \frac{Df^2}{2 \cdot (h + Df \cdot \text{sen}\beta)}$$

Donde:

Kc = Parámetro de la curva vertical cóncava (m)

Df = Distancia de frenado

$h = 0,6$ m Altura de los focos

$\beta = 1^\circ$ Ángulo de abertura del haz luminoso respecto a su eje

- **Curva convexa**

$$K_v = \frac{Df^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

Donde:

K_v = Parámetro de la curva vertical convexa (m)

Df = Distancia de frenado (m)

h_1 = 1,10 m Altura de ojos del conductor

h_2 = 0,20 m Altura del obstáculo

En la tabla se resumen los valores de K_v calculados según la expresión precedente considerando Df para V_p . Los valores K_c se calcula solo en función de V_p , según lo expuesto.

Tabla 2.9 Parámetros mínimos en curvas verticales de visibilidad

Velocidad de proyecto V_p (km/h)	Curvas convexas K_v	Curvas cóncavas K_c
30	300	400
40	400	500
50	700	1.000
60	1.200	1.400
70	1.800	1.900
80	3.000	2.600
90	4.700	3.400
100	6.850	4.200
110	9.850	5.200
120	14.000	6.300

Fuente: Manual ABC

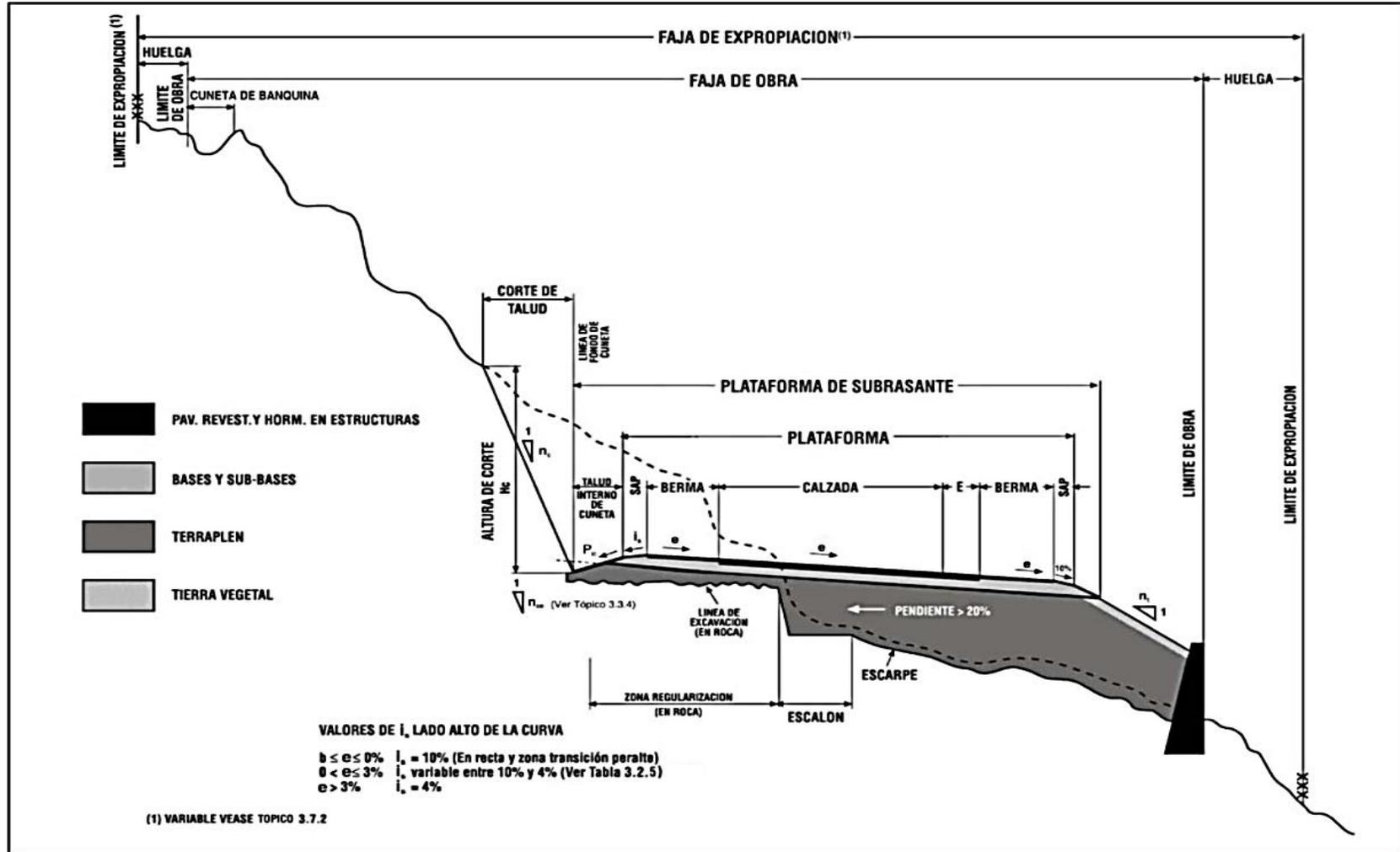
Para curvas convexas se utiliza el parámetro de curva vertical K_v igual a 300 y para curvas cóncavas K_c igual a 400.

2.1.5.3 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.

Figura 2.5 Perfil transversal descriptivo



Fuente: Manual ABC

Tabla 2.10 Resumen de anchos de plataforma en terraplén y sus elementos

Número 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
	Desarrollo	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 de la carter central

Fuente: Manual ABC

2.1.5.3.1 Ancho de plataforma

El ancho de los carriles de circulación proviene, generalmente de adicionar en ancho del vehículo tipo de proyecto adoptado o ancho de seguridad. Ese ancho de seguridad depende de la velocidad directriz, de la categoría del tramo de carretera y de que la calzada tenga uno o ambos sentidos de circulación.

Con la anterior premisa para proyecto la categoría de la vía es camino de desarrollo con una velocidad de proyecto de 30 km/h, entrando a la tabla 3.1-1 de la norma de la ABC Se define el ancho total de la plataforma en 5,0 m, con dos carriles de 2,50 m.

2.1.5.3.2 La calzada

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

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

En el caso de carreteras o caminos con calzada bidireccional de dos carriles, cada uno de ellos podrá ser utilizado ocasionalmente por vehículos que marchan en el sentido opuesto, en el momento en que éstos adelanten a otros más lentos.

2.1.5.3.3 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.

Con la velocidad de proyecto se tendrá bermas de 0,50 m a cada lado de la plataforma.

2.1.5.3.4 Pendiente transversal o bombeo

Las calzadas deberán tener bombeo con la finalidad de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo que depende del tipo de superficie de rodadura y la intensidad de la lluvia de 1 hora de duración con periodo de retorno de 10 años (1^{1}_{10}) mm/h.

La pendiente transversal de la calzada se adopta según el siguiente cuadro:

Tabla 2.11 Bombeo de la calzada

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

Fuente: Manual ABC

2.1.6 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.

2.1.7 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.

2.2 Diseño estructural

2.2.1 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 definida por el proyectista.

El periodo de diseño definido para un pavimento flexible con mantenimiento es de 20 años

2.2.2 Módulo resiliente M_r

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 datos relativos se obtiene el valor promedio anual. El módulo de resiliencia que corresponda al U_f 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.

El método utilizado para caracterizar la subrasante es el método de valor soporte californiana CBR ya que el equipo necesario para utilizar el Mr es costoso y no disponible.

La AASHTO proporciona la siguiente ecuación para correlacionar valores de CBR menores o iguales a 10% y para materiales de grano fino y empapado.

$$Mr = 1.500 * CBR$$

Mr en psi y CBR en %, para suelos finos con CBR menor al 10%.

De acuerdo a la experiencia en Latinoamérica, las ecuaciones que se presentan a continuación son las más utilizadas:

$$Mr = 17,60 * CBR ^ 0,64$$

Mr en MPa y CBR en %, para suelos finos con CBR menor a 12%.

$$Mr = 22,10 * CBR ^ 0,55$$

Mr en MPa y CBR en %, para suelos granulares 12% < CBR < 80%.

2.2.3 CBR de diseño

El CBR de diseño se consiguió de los datos obtenidos del estudio de suelos, se utilizaron los valores de CBR al 95% del proctor modificado AASHTO T – 180.

Los valores obtenidos para la carretera en estudio son:

Tabla 2.12 CBR de diseño

Tramo	CBR%	Mr (psi)	Mr (Mpa)
San Nicolas-Río Bermejo	17,00	15.227,23	104,99

Fuente: Elaboración propia

2.2.4 Materiales de construcción

2.2.4.1 El pavimento flexible

La estructura del pavimento flexible está compuesta por una capa superficial que es la capa asfáltica o capa de rodadura, seguida por la base y la sub base consecutivamente, lo

cual en complemento se encuentra apoyado sobre la subrasante o terreno natural a donde llega una parte de la carga vehicular.

- **Diferentes tipos de pavimentos flexibles**

- **Convencionales de base granular**

Son estructuras formadas por tres estratos o capas (pavimento, base y subbase) que se extienden y compactan sobre la subrasante existente y que a su vez pueden tener subcapas.

La capa más superficial es el pavimento, está formado por una mezcla de material granular (grava y/o arena) y material bituminoso (asfalto), esta mezcla puede ser dosificada y diseñada por diferentes métodos como el método Marshall y el método Superpave. Tiene como función principal soportar las cargas, tanto horizontales como verticales del tránsito. Si su espesor supera los 10 centímetros se suele dividir en una capa de rodadura y una intermedia.

La siguiente capa es la base, un material granular que se compone por partículas de diferentes tamaños (triturados, arenas y materiales finos) los cuales deben cumplir con una granulometría y distribución específica de las mismas según la especificación técnica. Su misión es la de absorber la mayor parte de los esfuerzos verticales.

Por último, el estrato más profundo es la subbase, la cual posee características similares a la de la base y sus componentes son prácticamente los mismos (triturados, arenas y materiales finos), pero con granulometría y distribución de tamaños de las partículas diferentes.

Su función, al igual que la base, es absorber la carga restante generada por los esfuerzos verticales que sobrepasa las capas anteriores, además proporciona un cimiento uniforme para estas.

- **Deep-Strength de base asfáltica**

Pavimentos asfálticos a profundidad parcial o deep strength - comprende una capa asfáltica superficial de gran espesor que está compuesta por dos capas asfálticas ligadas una capa de rodadura de mezcla asfáltica de muy buena estabilidad (Marshall 9000 N) y otra intermedia de estabilidad media (Marshall 6000 u 8000 N) es colocada sobre un base granular(no estabilizada).

➤ **Pavimentos full-depth**

Consiste en la determinación de un espesor de asfalto equivalente (Full-depth) que representa la sección estructural del pavimento si fuera completamente de asfalto. Para determinar los espesores de las capas de pavimento se hace una equivalencia del número de diseño de tráfico (DTN).

Un pavimento de asfalto Full-Depth es en que las mezclas del asfalto son empleadas para todas las capas sobre la subrasante o subrasante mejorada. Además, los pavimentos Full-Depth no encierran agua, la cual puede causar fallas de la base y de la subrasante, cuando las capas de agregado no tratado lo hacen frecuentemente. De hecho, a veces produce una pequeña o ninguna reducción en la resistencia de la subrasante debajo los pavimentos Full-Depth.

La humedad en una subrasante de arcilla puede estabilizarse en un contenido de humedad más bajo debajo de un pavimento de asfalto Full-Depth después de la construcción; pero debajo pavimentos construidos con capas de bases no tratadas no son posible frecuentemente. Sin embargo, construyendo por el método Full-Depth no permite ignorar el drenaje de la subsuperficie. El diseño apropiado del drenaje es una característica esencial del diseño global del pavimento. Incluso cuando los drenajes de la subsuperficie debajo del pavimento no son requeridos, frecuentemente se exigen drenajes interceptores para desviar aguas subterráneas.

El tiempo requerido para la construcción es reducido y cuando el espesor colocado es de 100 mm (4 in.) o más, pueden extenderse las temporadas de construcción.

Además, existe menos interferencia con las utilidades en una construcción de calle de ciudad porque los pavimentos Full-Depth son más delgados que las estructuras de pavimento con capas de agregado no tratado y son generalmente menos afectados por la humedad.

• **Pavimentos con tratamiento superficial**

Esta es una capa de rodadura que está compuesta básicamente por un ligante bituminoso, generalmente aplicado a temperatura ambiente, aunque también se puede calentar hasta

60°C, junto con una capa de grava o dos, dependiendo si se está construyendo un tratamiento superficial simple o doble.

El ligante asfáltico es fundamental en este tipo de rodaduras ya que es el producto que permite la adherencia de los áridos a la capa superficial del pavimento, sea una capa base o una capa de suelo estabilizado, en resumen, a su capa precedente.

Las principales características y beneficios de las “micro - rodaduras”, son:

Ahorro en acarreo

Rodaduras sin aporte estructural

Mejoran el nivel de servicio

Protegen la estructura de pavimento de la intemperie

Proveen una rodadura segura para los vehículos

Reducen el ruido al transitar

Incremento mínimo del nivel superficial

Apariencia de acabado asfáltico con una fracción del costo

▪ **Tratamiento superficial simple (TSS)**

El tratamiento superficial simple (TSS) o tratamiento Mono Capa consta de una capa de emulsión asfáltica, idealmente modificada con polímeros, tal como el PRI-18, seguida de una capa de gravilla/triturado y luego compactada. Para estos simples tratamientos, lo primero es la aplicación de asfalto sobre la superficie de la estructura de la vía, sea granular o un suelo estabilizado, y encima, sigue la aplicación de árido y su compactación. Es posible que previo a la capa de emulsión asfáltica, haya una ligera aplicación de cemento asfáltico en forma de emulsión, idealmente con una emulsión lenta para mejorar la adherencia de la rodadura a la superficie y no aplicar directamente la emulsión modificada del tratamiento superficial. Es importante que los áridos a utilizar cumplan con una serie de características de desgaste, tamaño (homogeneidad) y, además, en su forma (caras fracturadas). Es importante tener especial atención con la dosificación de emulsión ya que muy poca puede traducirse en el desprendimiento de los áridos de la rodadura y un exceso de emulsión puede resultar en el sangrado de la superficie. En algunas ocasiones a los simples tratamientos se les adiciona una última capa de ligante asfáltico seguida de una

capa de arena. Es fundamental verificar el cumplimiento de requisitos para cumplirlos a cabalidad ya que esta es una capa de aplicación única.

▪ **Tratamiento superficial doble (TSD)**

El Tratamiento Superficial Doble, es también conocido como Tratamiento Bi Capa, Doble Riego o Riego con Gravilla, consta de múltiples aplicaciones conformadas por una capa de emulsión asfáltica, idealmente modificada con polímeros, tal como el PRI-18, seguida de una capa de gravilla/triturado y luego compactada. Encima de esta capa, va otra capa prácticamente igual, solo que con los áridos/triturado/gravilla de menor tamaño. Es posible que previo a la primera capa de emulsión asfáltica, haya una capa de imprimación con una emulsión lenta para mejorar la adherencia de la rodadura a la superficie (Riego de Ligante). Es importante que el ligante elegido sea ideal para construir un pavimento viable, a lo que es de vital atención considerar sus características, viscosidad, adherencia, entre otros factores del ligante empleado. El objetivo de usar gravilla de menor tamaño en la segunda capa, es generar un encaje parcial de la segunda capa adentro de la primera, de esta forma la rodadura obtendrá una mejor matriz/módulo y así, mejor desempeño. Dichos materiales deberán cumplir con una serie de características de desempeño, tamaño, desgaste, entre otros.

Esta rodadura es un “sándwich” entre una capa de asfalto, seguido de una capa de gravilla, luego otra capa de asfalto y por último una capa de gravilla, de menor tamaño que la primera. También se puede adicionar una capa superficial de arena y ligante bituminoso encima de la última capa de agregado. Esta última capa tiende a aplicarse para tener un mejor curado y ahorrarle trabajo al ligante bituminoso a la hora de “subir” y además para reducir los vacíos de la última capa de agregado, al obtener una capa delgada superficial encima de la última capa de agregado. En algunas ocasiones a los dobles tratamientos se les adiciona una última capa de ligante asfáltico seguida de una capa de arena.

▪ **Tratamiento superficial triple (TST)**

El Tratamiento Superficial Triple (TST) consta de un Tratamiento Superficial Doble (TSD) pero encima se adiciona una última capa de emulsión (idealmente modificada o mejorada con polímeros) a una dosificación más baja para evitar el sangrado, seguida de una capa de arena gruesa o arenón, inclusive mezclada con triturado de <4mm, y así es

posible obtener una tercera capa, un mejor curado y una mejor matriz con menos vacíos; en esencia, se busca una tercera capa de emulsión que refuerce la última capa de gravilla y que además, llene sus vacíos para mejorar la matriz y asimismo el módulo de la rodadura.

▪ **Micro - pavimento**

Los micro - pavimentos consisten en una mezcla entre emulsión asfáltica de rotura controlada, idealmente modificada o mejorada con polímeros, junto con áridos de determinado tamaño y un filler, tal como polvo de roca, cal y/o cemento. Las emulsiones pueden ser mejoradas con polímeros tales como látex, estireno u otros aditivos de naturaleza acrílica, en función de los requerimientos técnicos del pavimento. Este tipo de soluciones también son conocidas como Micro-Surfacing, o micro - superficies, donde también pueden ser usadas sobre pavimentos convencionales para extender su vida útil. Es importante analizar el tipo de tecnología en asfaltos que mejor se adapte a las necesidades viales de cada proyecto.

• **Riego de liga**

El riego de liga es la aplicación de una emulsión asfáltica sobre una capa asfáltica o una capa granular imprimada, previo a la colocación sobre ésta de una capa asfáltica o tratamiento asfáltico. El riego de liga proporciona una adecuada adherencia entre las capas del pavimento, la cual es crítica para transferir los esfuerzos inducidos por las cargas de tránsito a la estructura de la carretera.

• **Imprimación asfáltica**

La imprimación asfáltica es un proceso en donde se aplica un material asfáltico diluido en forma plana, sobre la superficie de la subrasante o de un material granular no tratado (sub base o grava de río), o sobre una base granular no tratada (piedra chancada, grava triturada o escoria de acería), con la finalidad de recibir una capa de pavimento asfáltico o de impermeabilizar y evitar la disgregación de la base construida, de acuerdo con estas especificaciones y de conformidad con el proyecto. Incluye la aplicación de arena cuando sea requerido.

Con la imprimación asfáltica se sellan poros, grietas pequeñas y fisuras, dando ya una impermeabilización. Para colocar la membrana asfáltica se requiere calentar con soplete y quemar el polietileno de la membrana en la zona inferior.

Cuando se quema el polietileno, el asfalto de la membrana caliente queda y presiona continúan y así se pega ambos asfaltos, el de la membrana con el de la imprimación asfáltica. Así se adhiere la membrana de forma total al sustrato.

Para la imprimación asfáltica se suele usar dos tipos de asfaltos. Uno es la emulsión asfáltica de base acuosa, también conocido como hidroasfalto, que es de aplicación en frío. El otro tipo es la pintura asfáltica base solvente, la cual es de secado rápido y también de aplicación en frío. Dichos productos ya vienen listos para usar y son los más utilizados.

- **Base**

La base es la capa inmediatamente debajo de la superficie. Construida encima de la sub base destinada a sustentar la estructura del pavimento. Esta capa es la que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. Consiste de agregado de piedra triturada, las especificaciones para la capa base son más estrictas que las de subbase. Las especificaciones, granulométricas de los materiales se ven en la especificación M147 de la AASHTO con CBR mayor o igual a 80%.

- **Sub base**

Es la porción del pavimento entre la base y la subrasante, para formar una capa de apoyo para la base de pavimentos asfálticos y losas de concreto hidráulico. Consiste de material granular. Las especificaciones, granulométrica de los materiales se ven en la especificación M147 de la AASHTO con CBR mayor o igual a 30%.

2.4.4.1 Módulo de resiliencia de las capas

Bajo las anteriores primicias se calculó y se definen los módulos de resiliencia de las capas del pavimento flexible como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 2.13 Módulo de resiliencia de las capas

Capa	CBR	Mr (psi)	Mr (Mpa)
Base granular triturada	80,00%	35.692,22	246,09
Sub base granular	30,00%	20.810,90	143,49

Fuente: Elaboración propia

2.2.4 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.

La serviciabilidad de un pavimento es la habilidad de servir tráfico de alto volumen y alta velocidad.

Se mide por medio del índice de serviciabilidad actual "psi", que es una escala que va desde el 5 (camino perfecto) hasta 0 (camino imposible).

No se toma en cuenta la pérdida de serviciabilidad por el hinchamiento debido a que se planta la remoción del suelo expansivo.

- **Serviciabilidad inicial**

Se llama serviciabilidad inicial "Po" al valor del Psi que tendrá un pavimento inmediatamente luego de la construcción. En la mayoría de los casos la serviciabilidad inicial debe ser mayor a 4, según la AASHTO tenemos:

Pavimento flexible: $Po = 4,20$

- **Serviciabilidad final**

La serviciabilidad final "Pt" es el valor del Psi mínimo tolerable de un pavimento. Cuando la serviciabilidad de un pavimento alcanza a este valor, se requiere rehabilitación. Para volúmenes bajos de tránsito de AASHTO recomienda un valor de:

Pavimento flexible: $Pt = 2,00$

Se ha tomado una serviciabilidad inicial de 4,20 y serviciabilidad final de proyecto de 2,00, con una diferencia entre ambos de $\Delta\text{Psi} = 2,20$, conforme recomienda la guía de la AASHTO.

2.2.5 Confiabilidad

La confiabilidad de un proceso de diseño de un pavimento es la probabilidad de que una sección diseñada con ese proceso rendirá satisfactoria con las condiciones de tráfico y ambientales para el periodo de diseño.

Los parámetros que miden esa confiabilidad son dos:

- **Nivel de confiabilidad**

El nivel de confiabilidad es la probabilidad en porcentaje de que la estructura dure el periodo de diseño. Esta probabilidad es extraída de una curva de distribución normal. La selección de este parámetro depende del uso e importancia del pavimento. Un nivel de confiabilidad alto implica mayores costos iniciales, pero menores costos de mantenimiento. Según recomendaciones de AASHTO, para una carretera rural el rango es de 75% – 95%.

- **Desviación estándar normal**

Tabla 2.14 Desviación estándar normal

Desviación estándar normal , valores que corresponden a los niveles seleccionados de confiabilidad		
Confiabilidad R (%)	(ZR)	(So)
50,00	0,000	0,35
60,00	-0,253	0,35
70,00	-0,524	0,34
75,00	-0,647	0,34
80,00	-0,841	0,32
85,00	-1,037	0,32
90,00	-1,282	0,31
91,00	-1,340	0,31
92,00	-1,405	0,30
93,00	-1,476	0,30
94,00	-1,555	0,30
95,00	-1,645	0,30
96,00	-1,751	0,29
97,00	-1,881	0,29
98,00	-2,054	0,29
99,00	-2,327	0,29
99,90	-3,090	0,29
99,99	-3,750	0,29

Fuente: Diseño de pavimentos (AASTHO-93) del IBCH

- **Desviación estándar**

La desviación estándar es una medición de los errores o variabilidad de los datos introducido, propiedades de los materiales, tráfico, propiedades de la subrasante, condiciones climáticas y calidad de construcción. En la ausencia de valores locales, AASHTO recomienda los siguientes valores:

$$\text{Pavimentos flexibles: } S_o = 0,44$$

2.2.6 Coeficientes estructurales de las capas

El coeficiente estructural de una capa representa la relación empírica entre el número estructural SN y el espesor de dicha capa, siendo una medida de la capacidad relativa del material para actuar como componente estructural de pavimento dado.

El método AASHTO (guía de diseño de pavimentos AASHTO – 93) presenta las siguientes fórmulas para obtener el valor del coeficiente estructural.

Carpeta asfáltica:

$$a_1 = 0,400 * \log \frac{E_{ca}}{435} + 0,440$$

$$0,200 \leq a_1 \leq 0,440$$

Donde:

Módulo de elasticidad del asfalto a 68°F (20°C) $E_{CA} = 435$ ksi

Coeficiente estructural carpeta asfáltica $a_1 = 0,440$

Bases granulares:

$$a_2 = 0,250 * \log \frac{E_B}{23} + 0,110$$

$$0,060 \leq a_2 \leq 0,200$$

Donde:

Módulo resiliente de la base granular $E_B = 36$ ksi

Coeficiente estructural base granular $a_2 = 0,16$

Sub base granulares

$$a_3 = 0,230 * \log \frac{ESB}{23} + 0,150$$

$$0,060 \leq a_3 \leq 0,200$$

Donde:

Módulo resiliente de la sub base granular $E_{SB} = 21$ ksi

Coefficiente estructural sub base granular $a_3 = 0,14$

2.2.7 Coeficiente de drenaje

El método AASHTO propone la utilización de los coeficientes modificados para las capas de pavimento, en función de las características de drenaje de los materiales. Para eso, la calidad del drenaje es definida en función del tiempo exigido para la remoción del agua del pavimento.

Tabla 2.15 Calidad de drenaje en función al tiempo en que alcanza 85% de saturación

Calidad del drenaje	85% de saturación alcanzado en :
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	Agua no drena

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

Tabla 2.16 Coeficiente de drenaje en relación al porcentaje de tiempo que el pavimento está sometido a niveles de saturación y la calidad de drenaje

Calidad de drenaje	Porcentaje del tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menor del 1%	1 – 5%	5 – 25%	Mayor del 25%
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Bueno	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Pobre	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Malo	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Fuente: Diseño de pavimentos (AASTHO-93) del IBCH

Se adoptó los coeficientes igual a:

m2 = 0,80 (Coeficiente de drenaje capa base)

m3 = 0,60 (Coeficiente de drenaje capa sub base)

2.2.8 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:

$$\log W_{18} = Z_R * S_o + 9,36 * \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,4 + \frac{1,094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 * \log M_R - 8,07$$

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

2.2.9 Determinación de espesores de las capas del pavimento flexible

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 subbase:

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

Donde:

a_1, a_2 y a_3 = Coeficientes estructurales de capa de carpeta, base y sub-base respectivamente.

D_1, D_2 y D_3 = Espesor de la carpeta asfáltica, base y sub-base respectivamente, en pulgadas.

m_1, m_2 y m_3 = Coeficientes de drenaje para base y subbase, respectivamente.

Los valores mínimos de la carpeta asfáltica y base granular se definen en base al siguiente cuadro.

Tabla 2.17 Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular

Número de ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50.000	2,50 cm	10,00 cm
50.000 - 150.000	5,00 cm	10,00 cm
150.000 - 500.000	6,50 cm	10,00 cm
500.000 - 2.000.000	7,50 cm	15,00 cm
2.000.000 - 7.000.000	9,00 cm	15,00 cm
Más de 7.000.000	10,00 cm	15,00 cm

Fuente: Diseño de pavimentos (AASTHO – 93) del IBCH

2.3 Drenaje

2.3.1 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.

2.3.2 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:

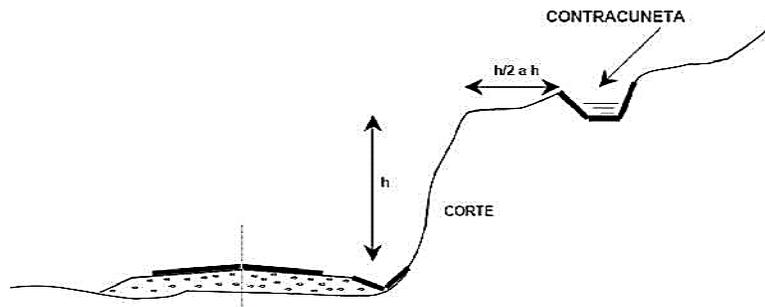
- **Cunetas**

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.

- **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 ladero 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 2.6 Ubicación de una contra cuneta en un camino

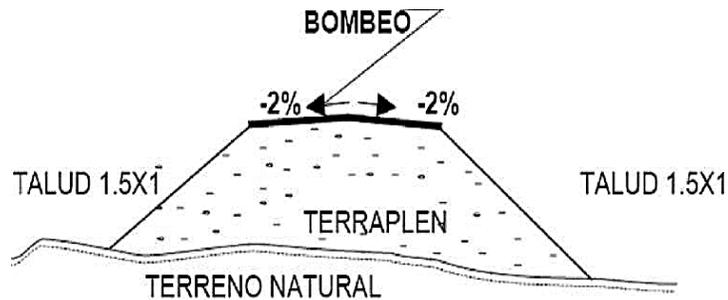


Fuente: Manual de drenaje y productos de construcción.

- **Bombeo**

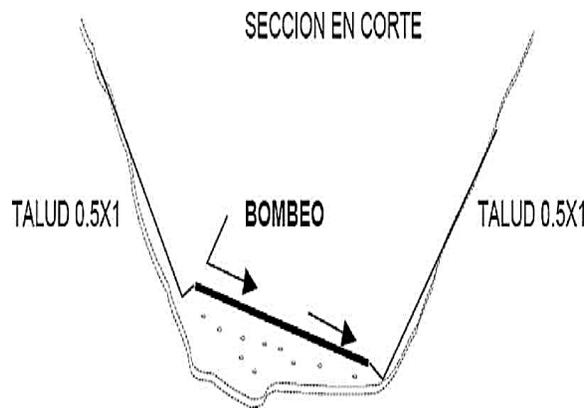
Se denomina bombeo a la pendiente transversal que se da en las carreteras para permitir que el agua que directamente cae sobre ellas escurra hacia sus dos hombros.

Figura 2.7 Bombeo en tangente



Fuente: Manual de drenaje y productos de construcción.

Figura 2.8 Bombeo en curva

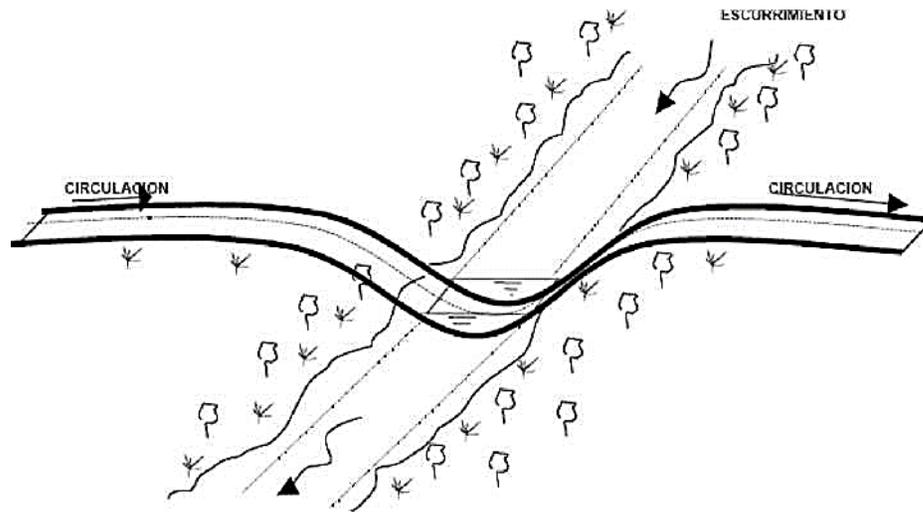


Fuente: Manual de drenaje y productos de construcción.

- **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 2.9 Proyecto de vado en un camino

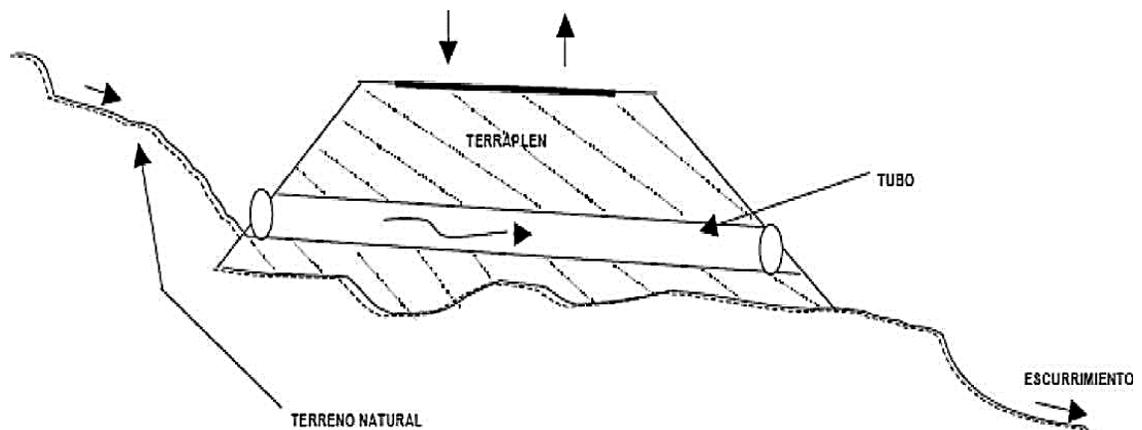


Fuente: Manual de drenaje y productos de construcción.

- **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 2.10 Proyecto de tubo en terraplén

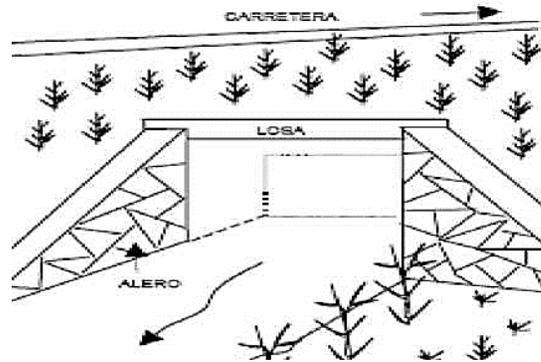


Fuente: Manual de drenaje y productos de construcción.

- **Puentes o alcantarillas**

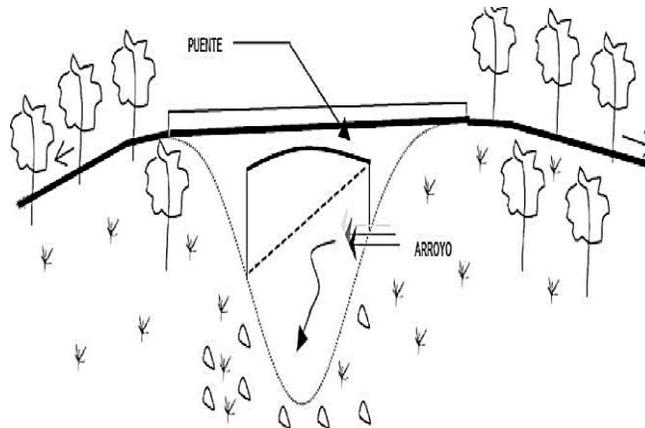
Las estructuras de drenaje más espectaculares en una vía terrestre son los puentes y las alcantarillas, responsables principales del drenaje transversal; es decir, del paso de grandes cantidades de agua.

Figura 2.11 Puente librando un arroyo



Fuente: Manual de drenaje y productos de construcción

Figura 2.12 Alcantarilla tipo



Fuente: Manual de drenaje y productos de construcción

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 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

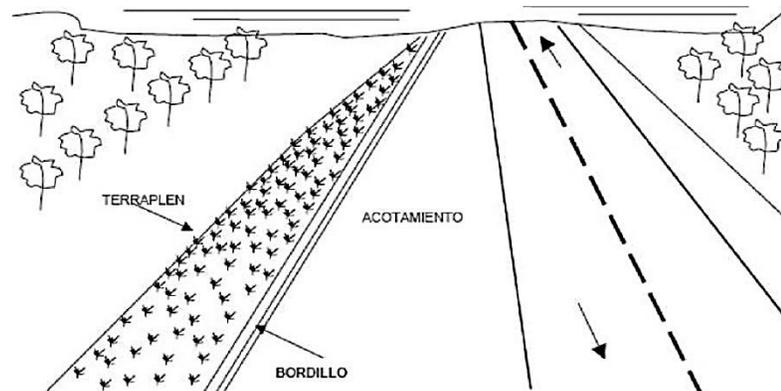
conducir el agua hacia los lavaderos y bajadas, evitando erosiones en los taludes y saturación de éstos por el agua que cae sobre la corona del camino. Generalmente los bordillos son de sección trapezoidal, de concreto asfáltico o hidráulico.

- **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.

- **Vegetados**

Figura 2.13 Acotamiento, bordillo y terraplén bien vegetados



Fuente: Manual de drenaje y productos de construcción.

2.4 Señalización

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

2.4.1 Señalización horizontal

- **Demarcación horizontal**

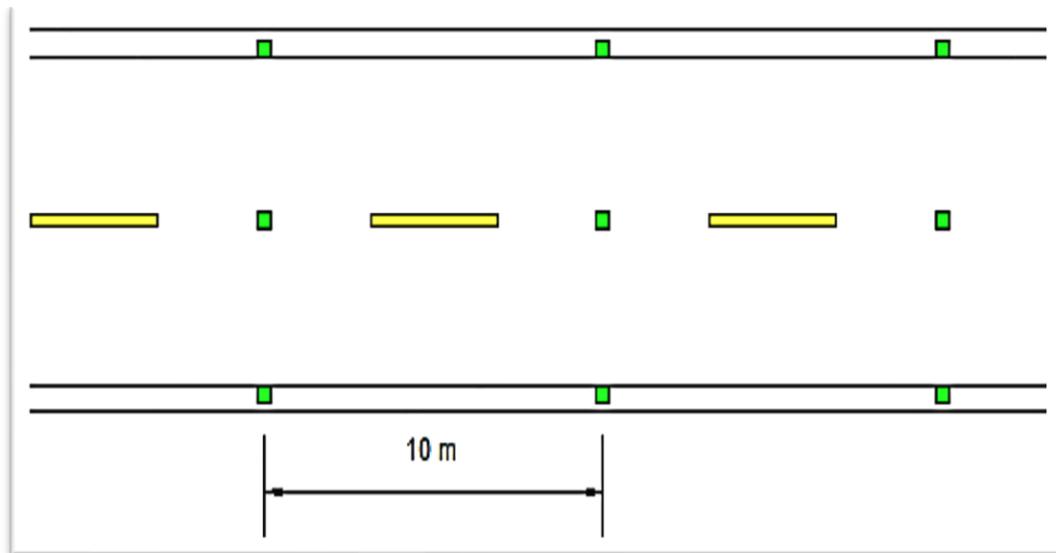
La demarcación está constituida por las líneas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordes y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito o indicar la presencia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

- **Marcas incrustadas en el pavimento (Ojos de gato)**

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

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

Figura 2.14 Marcas incrustadas en el pavimento (ojos de gato)



Fuente: Elaboración propia

2.4.2 Señalización vertical

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

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

Tabla 2.18 Dimensiones de las señales verticales

Tipo de señal	Dimensiones (cm)
Preventivas	Cuadrado 75 cm x 75 cm
Preventivas SP - 40	Rectángulo de 120 cm x 40 cm
Reglamentarias	Circulo de 75 cm de diámetro
Reglamentaria SR - 01	Octágono con altura de 75 cm.
Reglamentaria SR - 02	Triángulo equilátero 90 cm de lado
Informativas de servicio	Rectángulo de 60 cm x 75 cm

Fuente: Manual de la ABC

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

La ubicación lateral de la señal vertical corresponde a distancias de 1,2 m en las bermas y en los cortes a una distancia de 2,5 m. o por detrás de la cuneta revestida.

La altura de la señal desde su extremo inferior hasta la cota del borde del pavimento no será menor a 1,8 m. esta distancia no será mayor a 3,6 m.

Tabla 2.19 Ubicación longitudinal de las señales verticales

Velocidad de operación (km/hora)	Distancia (m)
30	30
40	40
50	50
60	60
≥ 80	80

Fuente: Manual de la ABC

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

2.5 Impacto ambiental

2.5.1 Identificación de los impactos ambientales en la etapa de construcción

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

2.5.1.1 Impactos sobre el medio físico

- **Impactos sobre el suelo**

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

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

- **Impactos sobre el agua y los drenajes naturales**

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

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

- **Impactos sobre el aire**

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

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

- **Impactos sobre niveles de presión sonora**

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

2.5.1.2 Impactos sobre medio biótico

- **Impactos sobre la flora**

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

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

- **Impacto sobre la fauna**

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

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

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

- **Impactos sobre los ecosistemas**

Como consecuencia del desbroce podría generarse la fragmentación de ecosistemas pequeños y la desaparición de estos a mediano plazo. Este impacto se daría en los lugares más cercanos al área sujeta al efecto de "borde", siendo este de carácter negativo, localizado, duración permanente e irreversible.

2.5.1.3 Impactos al medio socioeconómico

- **Impactos sobre la salud y seguridad del componente humano**

Falta de capacitación del personal en el manejo de equipos, mal funcionamiento de los mismos por falta de mantenimiento preventivo de los mismos, y ausencia de implementos de protección, pueden afectar la seguridad y salud de los trabajadores. Este tipo de impacto es negativo, de alta importancia, puntual y de corta duración.

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

- **Impactos sobre empleo**

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

- **Impactos sobre las actividades económicas**

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

CAPÍTULO III
DISEÑO DE INGENIERÍA

CAPÍTULO III

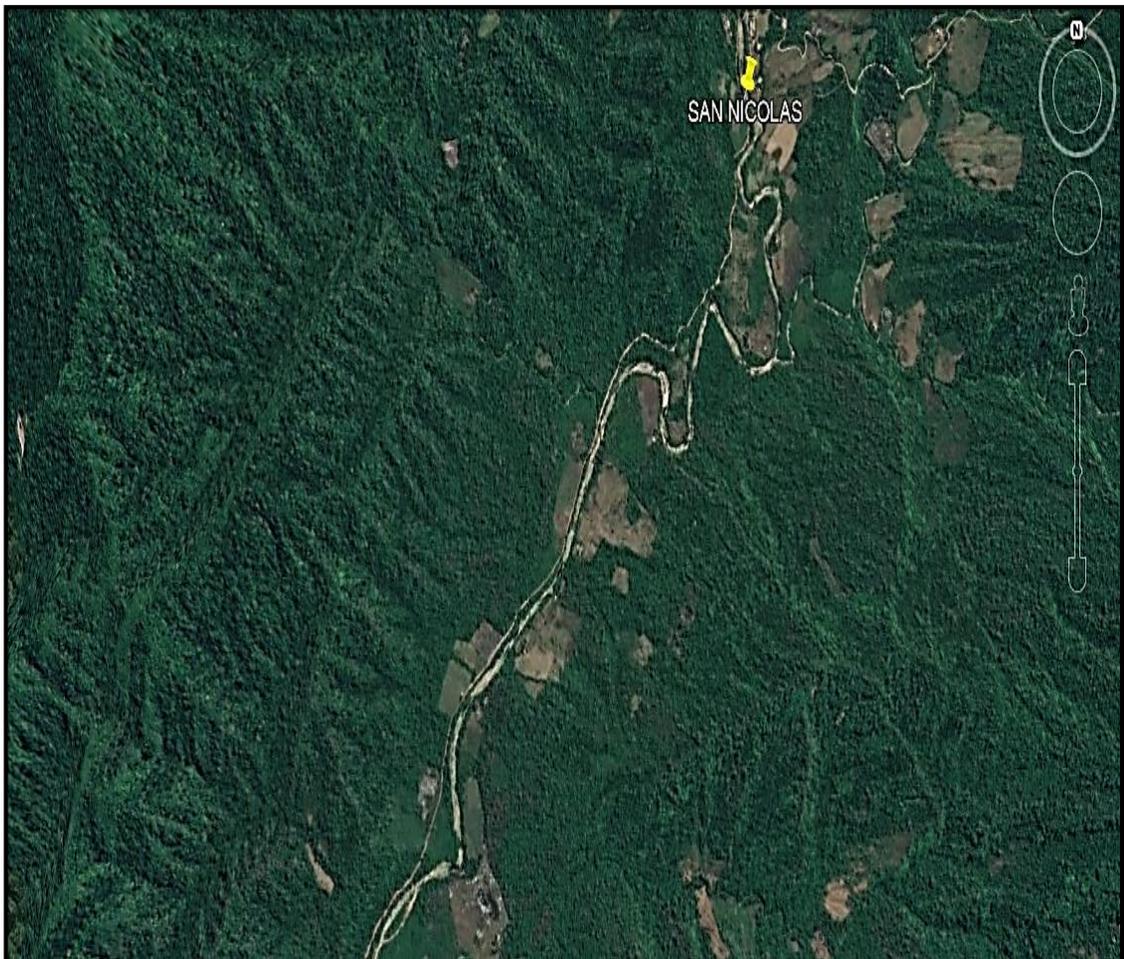
DISEÑO DE INGENIERIA

3.1 Descripción del área del proyecto

3.1.1 Localización del proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en la comunidad de San Nicolas, distrito VI del municipio de Caraparí, provincia Gran Chaco, departamento de Tarija, Bolivia.

Figura 3.1 Ubicación a nivel Caraparí



Fuente: Elaboración con base en imagen y plataforma Google MyMaps Maxar© (2022)

3.1.2 Datos importantes de la comunidad de San Nicolas

- **Población**

La población del área de influencia del proyecto es de 130 habitantes que se beneficiarán de manera directa con la ejecución del proyecto.

Tabla 3.1 Población área de influencia

Distrito	OTB's	N° Viviendas	N° Familias	Habitantes
VI	Yacunda	30	47	150
	Río Negro	23	27	63
	Campo Largo Hito 22	43	46	250
	Las Sidras	40	46	230
	Gutierrez	35	38	190
	San Nicolas	30	37	130
	Lecheronal- Cañaverl	34	50	124

Fuente: Plan territorial de desarrollo

En total, en el distrito VI de Caraparí hay 1.137 habitantes.

- **Ocupación principal**

La actividad principal de los(as) jefes de familia del área de influencia del proyecto, son las actividades relacionadas con agropecuaria.

Tabla 3.2 Actividades de la comunidad

Miembros	Ocupación principal	Ocupación secundaria
Padres	Agropecuario	Ganadería
Madres	Labores de casa	Ganadería

Fuente: Plan territorial de desarrollo

- **Aspectos educativos**

En el área de influencia directa del proyecto existe un establecimiento Educativo, donde ofrece servicios de educación básica, es decir, hasta 6to grado del nivel primario y alberga a 25 alumnos y atendido por 2 profesores del sistema educativo.

Tabla 3.3 Establecimiento educativo

Unidad Educativa	Turno			N° Aulas	Estado actual de la U.E.		
	Mañana	Tarde	Noche		Malo	Regular	Bueno
27 de mayo	X			3		X	

Fuente: Plan territorial de desarrollo

- **Aspectos de salud**

Respecto a los aspectos de salud en el área de influencia, en esta zona existe un establecimiento de salud. Por tanto, la población que necesita de atención médica asiste regularmente al establecimiento de la comunidad.

El Establecimiento de Salud cuenta con 4 piezas, 3 camas y servicios médicos básicos.

- **Medios de comunicación**

En la zona beneficiada con el proyecto de construcción del camino cuentan con el servicio de comunicación telefónica celular y con el servicio de comunicación por radio que está ubicado en el establecimiento de salud.

Tabla 3.4 Existencia de medios de comunicación

Detalle	Servicios	
	Si	No
Teléfono	X	
Radio de comunicación	X	
Internet		X

Fuente: Plan territorial de desarrollo

- **Agua potable**

Respecto al servicio de agua potable en el área de influencia, el servicio tiene una cobertura del 83,33%.

Tabla 3.5 Cobertura de agua potable

Detalle	N°	%
Viviendas con agua potable	25,00	83,33
Viviendas sin agua potable	5,00	16,67
Total	30,00	100,00

Fuente: Plan territorial de desarrollo

Actualmente, la red de agua potable existente es una red domiciliaria. Las 25 viviendas de la comunidad de San Nicolas que cuentan con conexiones de agua tienen este tipo de red.

En cuanto a la calidad del agua que recibe la población beneficiada, esta es regular. Una característica que presenta es su sabor dulce.

- **Energía eléctrica**

En el área de influencia del proyecto existe el servicio de energía eléctrica con conexiones domiciliarias y en proporciones menores el alumbrado público.

Respecto, a la cobertura de energía eléctrica domiciliaria, se puede decir, que es de aproximadamente el 87% de las viviendas tienen este servicio.

Tabla 3.6 Cobertura de energía eléctrica

Detalle	N°	%
Viviendas con energía eléctrica	26,00	86,67
Viviendas sin energía eléctrica	4,00	13,33
Total	30,00	100,00

Fuente: Plan territorial de desarrollo

- **Servicio sanitario**

En el municipio no se ha podido satisfacer la demanda de disponibilidad de sanitario y desagüe (alcantarillado) de vivienda en los hogares este es el servicio con menor cobertura y se concentra en las zonas de los distritos 1 y 7.

En el caso del área de influencia directa del proyecto, el 50% de las viviendas cuentan con pozos ciegos y/o letrinas. Por su parte, el restante 50% no cuentan con este servicio para la evacuación de desechos.

Tabla 3.7 Cobertura del servicio sanitario

Detalle	N°	%
Alcantarillado sanitario	0,00	0,00
Pozo ciego / Letrinas	15,00	50,00
Ninguno	15,00	50,00
Total	30,00	100,00

Fuente: Plan territorial de desarrollo

3.2 Estudios previos

3.2.1 Topografía

3.2.1.1 Criterios de levantamiento

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

La mejor manera de lograr que los trabajos topográficos se ejecuten en forma correcta es cuando los topógrafos conocen bien los alcances del trabajo a ejecutar, es decir, qué es lo que se requiere que hagan; conocer el grado de precisión exigido de acuerdo al uso para el cual se pide la topografía, lo que definirá el sistema de trabajo y tipo de equipo a utilizar

y tengan un claro concepto de cómo funcionan los sistemas de procesamiento de información topográfica, especialmente el proceso de formación del modelo espacial del terreno para la interpolación de las curvas de nivel para que tengan el criterio correcto de cómo distribuir los puntos de relleno y la forma de tomar los datos planimétricos que permitan un procesamiento ordenado y lógico de los datos de campo.

3.2.1.2 Topografía para proyectos

El levantamiento topográfico fue proporcionado por el Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí, quien a su vez nos informó que este levantamiento se realizó a través de su unidad de topografía, bajo el criterio del técnico topógrafo Simeón Caucota Ibáñez como encargado el cual tomó la iniciativa para la distribución de los puntos.

Se realizó un levantamiento topográfico longitudinal, tomando como punto inicial el BM en las coordenadas norte $N=7.555.162,78$ y este $E=386.009,54$ con una elevación de $H=682,31$ msnm, y mediante ella obtener los demás puntos para el proyecto, con una distancia aproximadamente de 600,00 m se tomó otro punto BM y así se fue avanzando a lo largo de la brecha.

Figura 3.2 Imágenes del levantamiento topográfico



Fuente: Elaboración propia

Se terminó concluyendo que se realizó una poligonal abierta ya que este tipo de levantamiento sirve para el estudio y el diseño de carreteras o vías de comunicación, del cual obtuvimos los siguientes BMs.

Tabla 3.8 Coordenadas de puntos BM.

Norte	Este	Elevación	Descripción
7.555.162,78	386.009,54	682,31	BM 1
7.554.446,93	385.620,39	751,36	BM 2
7.554.256,58	385.009,81	686,75	BM 3
7.553.297,22	384.570,32	649,12	BM 4
7.552.882,88	383.883,62	647,48	BM 5
7.554.855,54	385.852,61	733,52	BM 6
7.551.947,25	383.327,88	686,29	BM 7
7.551.514,45	383.209,44	653,46	BM 8
7.552.334,63	383.725,76	646,54	BM 9

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

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

Tabla 3.9 Nomenclatura de la topografía

Sigla	Descripción
BM	Banco de nivel o punto de control
Eje	Eje
Casa	Casa
Cerco	Cerco
Quebrada	Quebrada
C. Nivel	Cota de nivel
Camino	Camino

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

Se obtuvo un total de 1.354 puntos para la realización del proyecto entre ellos tenemos el eje por donde actualmente se transita. Ahora con esta información mediante procedimientos de gabinete se obtendrá las curvas de nivel necesarias para el mejoramiento y diseño del camino bajo las normativas vigentes.

Tabla 3.10 Levantamiento topográfico

N°	Norte	Este	Elevación	Descripción
1	7.555.176,13	386.060,19	679,06	Camino
2	7.555.171,05	386.064,82	679,09	Camino
3	7.555.158,48	386.073,51	678,50	Camino
4	7.555.145,14	386.086,28	678,24	Camino
5	7.555.136,84	386.093,51	678,00	Camino
6	7.555.129,48	386.090,13	677,68	Eje
7	7.555.099,86	386.109,37	677,37	Camino
8	7.555.008,56	386.089,31	677,24	Camino
9	7.555.006,80	386.089,49	677,17	Camino
10	7.554.947,54	386.013,09	681,66	Camino
11	7.554.944,65	386.006,88	682,76	Camino
12	7.554.944,67	386.006,65	682,61	Camino
13	7.554.417,85	385.853,31	683,96	Eje
14	7.554.957,22	386.017,28	680,66	Camino
15	7.554.968,03	386.023,13	680,64	Camino
16	7.554.986,85	386.020,66	680,23	Camino
17	7.554.951,36	386.019,19	680,45	Camino
18	7.554.935,36	386.004,55	682,42	C. Nivel
19	7.554.920,67	386.004,21	682,32	C. Nivel
20	7.554.913,00	385.995,59	684,88	C. Nivel
21	7.554.951,20	385.999,34	682,53	C. Nivel
22	7.554.938,66	385.992,05	684,12	C. Nivel
23	7.554.929,71	385.988,63	686,76	C. Nivel
24	7.554.926,70	385.983,98	687,10	Camino

25	7.554.932,09	385.981,79	688,35	Eje
26	7.554.937,84	385.974,72	690,07	C. Nivel
27	7.554.923,16	385.982,12	688,92	Camino
28	7.554.913,76	385.983,77	688,63	Camino
29	7.554.902,83	385.989,32	686,30	Camino
30	7.554.901,64	385.986,82	687,94	C. Nivel
31	7.554.900,30	385.977,60	690,85	C. Nivel
32	7.554.891,05	386.001,51	684,29	C. Nivel
33	7.554.876,44	385.987,48	687,46	Eje
34	7.554.863,92	385.992,48	687,27	C. Nivel
35	7.554.862,80	385.990,27	687,43	Camino
36	7.554.845,40	385.987,51	689,98	C. Nivel
37	7.554.842,61	385.985,66	689,29	Camino
38	7.554.836,09	385.979,68	691,21	Eje
39	7.554.843,02	385.978,47	692,30	C. Nivel
40	7.554.823,36	385.987,51	690,20	Camino
41	7.554.802,99	385.990,56	689,59	Camino
42	7.554.790,63	385.977,05	692,06	C. Nivel
43	7.554.790,14	385.994,40	688,20	C. Nivel
44	7.554.790,24	385.995,99	688,56	Camino
45	7.554.777,83	385.987,65	690,71	Eje
46	7.554.772,80	385.991,23	690,43	Camino
47	7.554.758,04	385.991,34	690,06	Camino
48	7.554.760,36	385.976,00	693,03	C. Nivel
49	7.554.754,75	385.997,73	689,02	C. Nivel
50	7.554.747,06	385.987,66	691,07	Camino

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

En el ANEXO I ESTUDIOS PREVIOS se muestra todos los puntos obtenidos del levantamiento topográfico de la zona de estudio.

3.2.2 Estudio geotécnico

El estudio geotécnico se basa en conocer las características y la calidad de los suelos que constituyan el perfil de la subrasante natural, basándose en el conocimiento del tipo de suelos a lo largo del trazado, su caracterización, su clasificación, y la determinación de las propiedades físicas y mecánicas, para determinar las condiciones geotécnicas de los materiales que constituyen la mencionada subrasante, aptitud resumida en el conocimiento de la relación entre la variación de la resistencia a la penetración de un suelo (CBR), y su capacidad de soporte como base de sustentación para la implementación de pavimentos flexibles o tratamientos superficiales.

3.2.2.1 Criterios de estudio de muestreo

El muestreo realizado fue el que se hace regularmente para la elaboración de los ensayos necesarios para identificar todas las propiedades de la subrasante. Se realizaron calicatas cada 720 m de la carretera, donde se obtuvieron 8 muestras dentro del tramo San Nicolas – Río Bermejo las cuales fueron proporcionadas por el Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí, quien a su vez nos informó que estos ensayos se realizaron por medio del laboratorio “Copas” el cual se encuentra localizado en Yacuiba a unos 45min de Caraparí.

3.2.2.2 Trabajo de laboratorio

La relación de ensayos de laboratorio es la siguiente:

- Determinación de humedad natural.
- Distribución granulométrica de los materiales constitutivos del suelo, mediante la vía del tamizado.
- Establecimiento de los límites de consistencia o los límites de Atterberg.
- Límite líquido.
- Límite plástico.
- Índice de plasticidad.
- Clasificación de los suelos, adoptando el sistema SUCS y AASTHO.
- Determinación del grado de compactación mediante el ensayo Proctor T – 180.
- Determinación de la capacidad de soporte (california Bearing ratio) CBR.

3.2.2.3 Ensayo de análisis granulométrico

La granulometría es obtener la distribución porcentual de los tamaños de las partículas que conforman un suelo. Para ello se utilizó un juego de tamices que tienen un tamaño de abertura graduado establecidos por las normas ASTM y AASTHO, en donde se obtuvo los pesos retenidos en cada tamiz para luego realizar posteriores cálculos en gabinete como la curva granulométrica.

Para la granulometría primeramente sacamos la humedad natural de la muestra para posteriormente realizar la granulometría.

Primero se pesa una muestra de 5.000 gr o depende del tipo de suelo que se quiere analizar, luego se hace pasar por los diferentes tamices y pesar lo retenido en cada tamiz para después sacar el peso retenido acumulado, para posteriormente sacar el porcentaje que pasa de cada tamiz y con ello graficar la curva granulométrica.

A continuación, mostramos un cuadro donde se presenta la granulometría correspondiente a la progresiva 0+720 ubicado en las coordenadas norte N=7.554.533,37 y este E=385.938,51 , de un suelo GM (Grava limosa, mezcla de grava, arena y limo) que es uno de los tipos de suelo del tramo en estudio.

Tabla 3.11 Ensayo del contenido de humedad

Peso de suelo húmedo + cápsula	100,00
Peso de suelo seco + cápsula	95,00
Peso de cápsula	0,00
Peso de suelo seco	95,00
Peso del agua	5,00
Contenido de humedad (%)	5,30

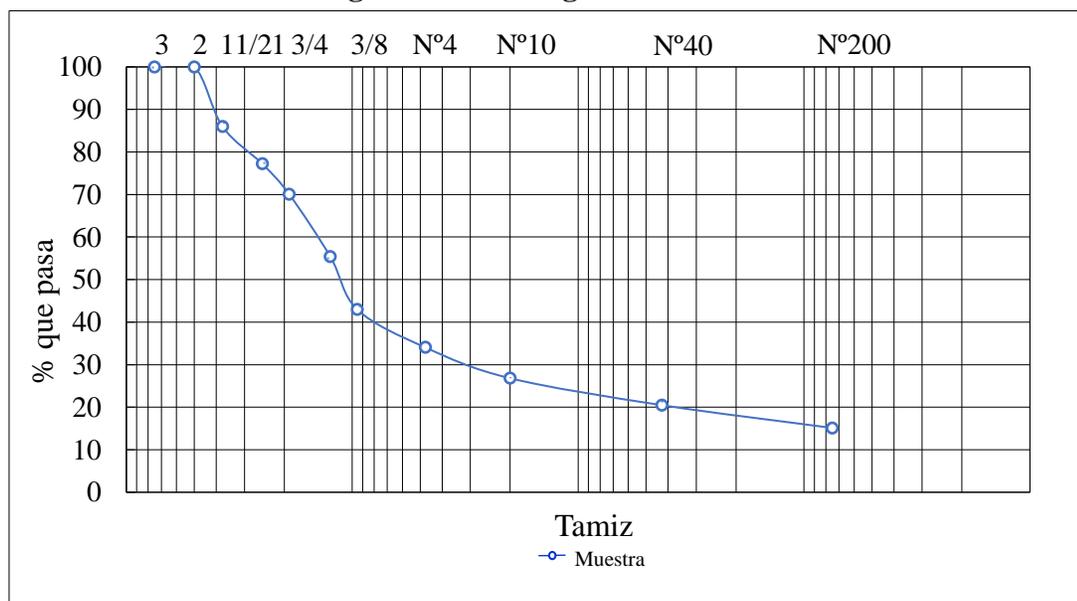
Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

Tabla 3.12 Planilla de ensayo de granulometría

Tamices	Tamaño (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado (gr)	% retenido	% Que pasa del total
3"	75,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	702,31	702,31	14,05	85,95
1"	25,00	437,56	1.139,87	22,80	77,20
3/4"	19,00	358,20	1.498,07	29,96	70,04
1/2"	12,50	732,42	2.230,49	44,61	55,39
3/8"	9,50	621,24	2.851,73	57,03	42,97
N°4	4,75	445,53	3.297,26	65,95	34,05
N°10	2,00	362,40	3.659,66	73,19	26,81
N°40	0,43	316,84	3.976,50	79,53	20,47
N°200	0,08	267,82	4.244,32	84,89	15,11

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

Figura 3.3 Curva granulométrica



Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

El resumen del análisis granulométrico de todas las muestras se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla 3.13 Resumen de los ensayos granulométricos

Progresivas	% que pasa del total										
	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N 4	N 10	N 40	N 200
	75,00	50,00	37,50	25,00	19,00	12,50	9,50	4,75	2,00	0,425	0,075
0+000	100,00	100,00	96,96	92,45	88,12	84,44	80,18	50,55	39,60	30,24	4,60
0+720	100,00	100,00	85,95	77,20	70,04	55,39	42,97	34,05	26,81	20,47	15,11
1+440	100,00	100,00	89,53	81,69	78,00	74,98	73,65	71,34	70,18	68,58	22,39
2+160	100,00	100,00	86,21	75,75	70,35	59,60	54,67	42,61	30,94	16,65	1,79
2+880	100,00	100,00	100,00	99,35	97,21	87,50	77,43	61,35	50,90	30,90	3,16
3+600	100,00	100,00	100,00	99,35	97,21	87,50	77,43	49,35	30,90	13,80	2,06
4+320	100,00	100,00	87,41	78,43	70,03	55,48	42,75	33,10	26,37	19,78	15,14
5+040	100,00	100,00	86,28	77,24	70,75	56,51	43,68	34,92	27,41	21,06	15,37

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

3.2.2.4 Ensayo de límites de Atterberg

Para el cálculo de los límites se debe tomar en cuenta donde se presenta la plasticidad.

Normalmente son plásticos los suelos finos, arcillas y no plásticos los suelos gruesos, gravas y arenas.

Límite líquido: Es el contenido de humedad (%) que presenta un suelo cuando a los 25 golpes del aparato Casagrande, se cierra la abertura hecha por el ranurador que se encuentra normalizado.

Límite plástico: Es el contenido de humedad (%), que tiene el suelo cuando el mismo empieza a producir grietas y desmoronamientos, al construir con la mano pequeños cilindros de 3mm de diámetro.

- **Procedimiento del límite líquido**

Para el cálculo del límite líquido primero se tamiza una muestra en el tamiz N°40 que posteriormente se procede a humedecer hasta que se tenga una contextura de mantequilla que posteriormente se coloca al aparato Casa grande y se hace una ranulación y se procede con los 25 golpes hasta que la ranura se cierre, luego se saca, se procede a pesar y posteriormente se deja en el horno las 24 horas. para luego volver a pesar para obtener el peso seco.

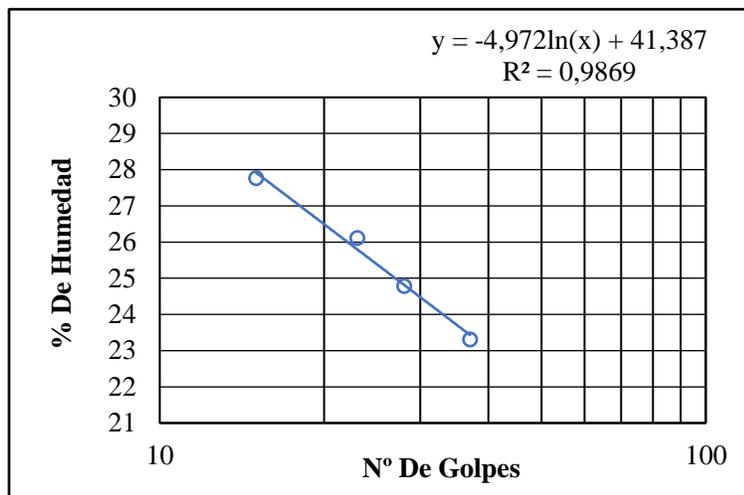
A continuación, se muestra un cuadro de cálculo del límite líquido de una muestra de suelo GM (Grava limosa, mezcla de grava, arena y limo), perteneciente a la progresiva 0+720 del tramo en estudio.

Tabla 3.14 Planilla de ensayo de límite líquido

Cápsula N°	1,00	2,00	3,00	4,00
N° de golpes	15,00	23,00	28,00	37,00
Suelo húmedo + cápsula (gr)	42,12	39,75	42,60	38,36
Suelo seco + cápsula (gr)	36,75	34,12	36,85	34,54
Peso del agua (gr)	5,37	5,63	5,75	3,82
Peso de la cápsula (gr)	17,41	12,56	13,65	18,15
Peso suelo seco (gr)	19,34	21,56	23,20	16,39
Porcentaje de humedad (%)	27,77	26,11	24,78	23,31

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

Figura 3.4 Curva de flujo para límite líquido



Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

Del gráfico se tiene un límite líquido igual a:

$$LL = 25 \%$$

- **Procedimiento del límite plástico**

Para el límite plástico se utilizó una base de vidrio para hacer los rollos de 3mm donde este empieza a agrietarse, se corta, se pesa y se coloca al horno para su secado para posteriormente pesar y obtener el peso seco.

A continuación, se muestra un cuadro de cálculo del límite plástico de una muestra de suelo GM (Grava limosa, mezcla de grava, arena y limo), perteneciente a la progresiva 0+720 del tramo en estudio.

Tabla 3.15 Planilla de ensayo del límite plástico

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + cápsula (gr)	12,36	16,95	18,26
Peso de suelo seco + cápsula (gr)	12,22	16,23	17,48
Peso de cápsula (gr)	11,54	13,02	14,05
Peso de suelo seco (gr)	0,68	3,21	3,43
Peso del agua (gr)	0,14	0,72	0,78
Contenido de humedad %	20,59	22,43	22,74

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

El promedio de los porcentajes de humedad es igual al límite plástico.

$$LP = 22 \%$$

Ya calculado el límite plástico se procede a calcular el índice de plasticidad que es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = 3 \%$$

El resumen del ensayo de límites de Atterberg de todas las muestras se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 3.16 Resumen de ensayos de los límites de Atterberg de las muestras obtenidas

Progresivas	Límites de Atterberg		Índice de plasticidad
	Límite líquido	Límite plástico	
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
0+000	No plástico		
0+720	25	22	3
1+440	No plástico		
2+160	No plástico		
2+880	No plástico		
3+600	No plástico		
4+320	17	14	3
5+040	No plástico		

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

3.2.2.5 Clasificación de suelos

Ya obtenido el índice de plasticidad y la granulometría se procede a clasificar el suelo según AASTHO y SUCS

En este tramo de estudio se encontraron 3 tipos de suelos, según la clasificación de la AASTHO.

A – 1 – a (0): Este suelo incluye aquellos materiales que consisten predominantes de fragmentos de roca o grava con o sin un ligante de suelo bien graduado.

A – 1 – b (0): Este suelo incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de arena gruesa con o sin un ligante de suelo bien graduado.

A – 2 – 4 (0) : Este tipo de suelo incluye gravas y arenas (arenas gruesas), que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja, pero que excede al grupo A – 1, también incluye la arena fina con limos no plásticos.

En este tramo de estudio se encontraron 5 tipos de suelos, según la clasificación de SUCS

GW y SW : Se trata de suelos bien graduados, que contienen poco o casi nada de finos, tienen una alta capacidad de drenaje de aguas.

GP : Son suelos que se encuentran mal graduados, vale hacer notar que la clasificación unificada, considera que un suelo presente uniformidad en sus granos, es mal graduado.

GM y SM : Considerados suelos con presencia relevante de limo inorgánico o arena fina. Contienen plasticidad baja a media.

Tabla 3.17 Tabla de resultados de la clasificación de suelos según SUCS y AASTHO

Origen			Clasificación	
N° Muestra	Progresiva	Prof. (m)	AASTHO	SUCS
Muestra 1	0+000	0,50	A-1-b (0)	GP
Muestra 2	0+720	0,50	A-1-b (0)	GM
Muestra 3	1+440	0,50	A-2-4 (0)	SM
Muestra 4	2+160	0,50	A-1-a (0)	GW
Muestra 5	2+880	0,50	A-1-b (0)	SW
Muestra 6	3+600	0,50	A-1-a (0)	GW
Muestra 7	4+320	0,50	A-1-b (0)	GM
Muestra 8	5+040	0,50	A-1-b (0)	GM

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

3.2.2.6 Compactación

Para la compactación se utilizó el Proctor T – 180, primeramente, se calculó el contenido de humedad de las muestras esto para saber cuánto de agua se agregará al suelo, luego se fue incrementando un pequeño porcentaje de agua a cada muestra para ir cambiando de densidad de acuerdo a sus cambios de humedad.

A continuación, se mostrará una tabla de compactación de un tipo de suelo GM (Grava limosa, mezcla de grava, arena y limo), perteneciente a la progresiva 0+720 del tramo en estudio, donde se detalla los pasos que se sigue para obtener la densidad del suelo seco y el contenido de humedad óptimo para posteriormente calcular los CBR para los diferentes tipos de suelos dispuestos en el tramo.

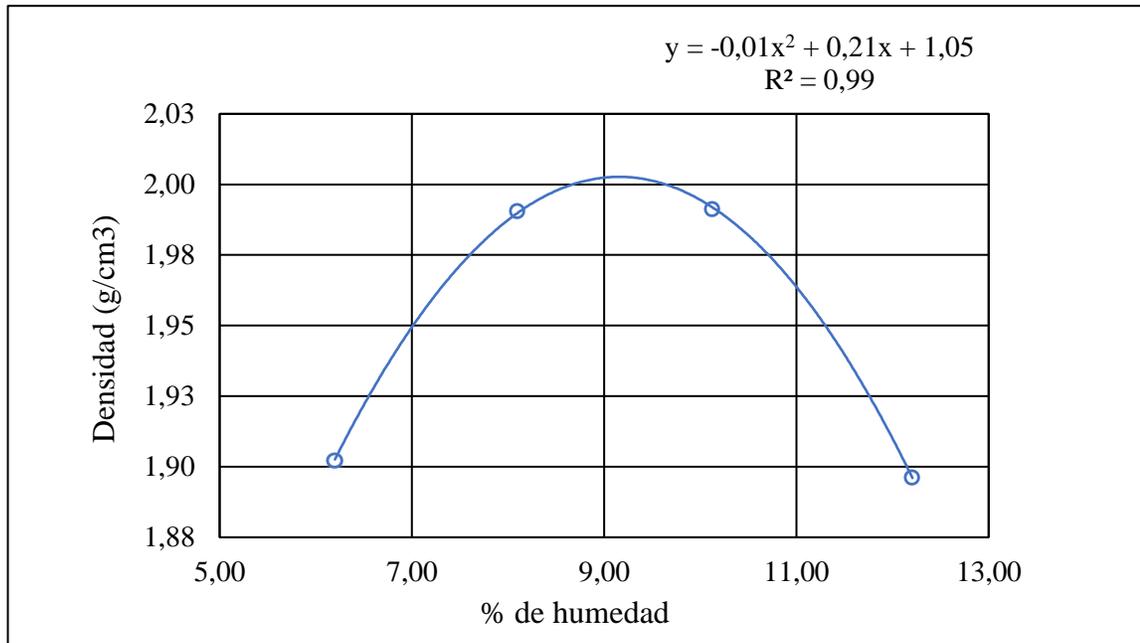
Tabla 3.18 Planilla de compactación T - 180

Nº de capas	5,00	5,00	5,00	5,00
Nº de golpes por capa	56,00	56,00	56,00	56,00
Peso suelo húmedo + molde (gr)	5450,00	5840,50	6025,60	5680,50
Peso del molde (gr)	3675,60	3675,60	3675,60	3675,60
Peso suelo húmedo (gr)	1774,40	2164,90	2350,00	2004,90
Volumen de la muestra (cm ³)	2120,60	2120,60	2120,60	2120,60
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	1,88	2,30	2,50	2,13
Cápsula Nº	1,00	2,00	3,00	4,00
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	78,15	72,70	79,54	49,90
Peso suelo seco + cápsula (gr)	76,50	69,90	74,70	46,80
Peso del agua (gr)	1,65	2,80	4,84	3,10
Peso de la cápsula (gr)	20,40	21,70	18,60	21,30
Peso suelo seco (gr)	56,10	48,20	56,10	25,50
Contenido de humedad (%)	6,20	8,10	10,13	12,21
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	1,90	1,99	1,99	1,90

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

Con la densidad del suelo seco y el contenido de humedad obtenemos la siguiente gráfica donde se obtiene la humedad óptica del suelo y la densidad máxima del suelo seco.

Figura 3.5 Curva de compactación



Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

Del gráfico se obtiene:

Densidad máxima = 2,01 gr/cm³

Humedad óptima = 9,24 %

En el siguiente cuadro se muestra los resultados de densidad y humedad óptima de los 5 tipos de suelos encontrados en la zona de estudio.

**Tabla 3.19 Resumen de los ensayos de compactación T - 180
de los diferentes tipos de suelos obtenidos**

Tipo de suelo	Densidad máxima (gr/cm ³)	Humedad óptima (%)
GP	2,28	7,78
GM	2,01	9,24
SM	2,00	9,45
GW	2,23	6,00
SW	1,89	11,78

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

Los cálculos de compactación de los suelos encontrados en la zona de estudio se mostrarán en el ANEXO 6 (Estudio de suelos).

3.2.2.7 Cálculo de la capacidad de soporte CBR

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método desarrollado por la división de carreteras del estado de california (EE.UU.). Y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub – rasante, sub – base y base de pavimentos.

El ensayo 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 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 esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material chancado.

Para el ensayo de CBR se confeccionaron 3 probetas, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 12, 25 y 56 golpes).

A continuación, en los siguientes cuadros se detallará el ensayo de CBR de la muestra N° 2, del tipo de suelo GM (Grava limosa, mezcla de grava, arena y limo).

Tabla 3.20 Contenido de humedad y peso unitario

N° capas	5,00			5,00			5,00		
N° golpes por capa	12,00			25,00			56,00		
Condición de muestra	Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M	
Peso muestra húm. + molde (gr)	10.980,00	11.405,00		11.275,00	11.540,00		11.675,00	11.890,00	
Peso molde (gr)	7.235,00	7.235,00		7.085,00	7.09		7.15	7.15	
Peso muestra húmeda (gr)	3.745,00	4.170,00		4.190,00	4.46		4.53	4.74	
Volumen de la muestra (cm ³)	2.116,30	2.116,30		2.134,00	2.134,00		2.121,30	2.121,30	
Peso unit. muestra húm. (gr/cm ³)	1,770	1,970		1,963	2,088		2,133	2,234	
Muestra de humedad	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00
Peso muestra húm + tara (gr)	64,46	65,27	56,10	198,50	207,10	55,80	56,36	62,46	60,00
Peso muestra seca + tara (gr)	53,91	54,67	49,56	181,60	188,10	49,24	49,80	52,33	58,37
Peso del agua (gr)	10,55	10,60	6,54	16,90	19,00	6,56	6,56	10,13	1,63
Peso de tara (gr)	19,71	14,33	14,21	63,65	64,00	15,25	15,54	15,74	17,20
Peso de la muestra seca (gr)	34,20	40,34	35,35	117,95	124,10	33,99	34,26	36,59	41,17
Contenido humedad (%)	30,85	26,28	18,50	14,33	15,31	19,30	19,15	27,69	3,96
Promedio cont. humedad (%)	28,56		18,50	14,82		19,30	16,93		3,96
Peso unit. muestra seca (gr/cm ³)	1,38	1,66		1,71	1,75		1,82	2,15	

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

Tabla 3.21 Planilla de cálculo de expansión

Fecha	Hora	Tiempo en horas	Molde N.º 1			Molde N.º 2			Molde N.º 3					
			Lect.		Expansión		Lect.		Expansión		Lect.		Expansión	
			Extens.	cm	%	Extens.	cm	%	Extens.	cm	%			
09-Feb-21	15:00	1,00	22,40	2,240	0,000	22,74	2,270	0,000	18,35	1,835	0,000			
10-Feb-21	16:00	2,00	23,69	2,369	1,108	24,60	2,460	1,589	20,15	2,015	1,547			
11-Feb-21	17:00	3,00	25,80	2,580	2,919	26,50	2,650	3,213	22,54	2,254	3,602			
12-Feb-21	18:00	4,00	26,95	2,695	3,906	27,00	2,700	3,640	23,00	2,300	3,997			

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

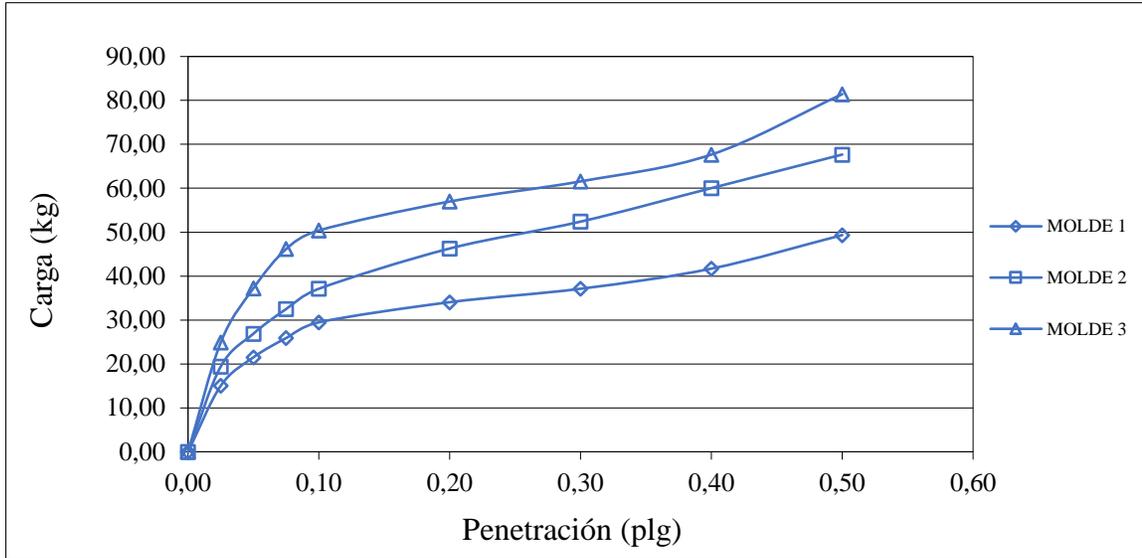
Tabla 3.22 Planilla de cálculo del CBR

Penetración		C.N.	Molde N° 1				Molde N° 2				Molde N° 3			
			Carga de ensayo		CBR corregido		Carga de ensayo		CBR corregido		Carga de ensayo		CBR corregido	
Pulg	mm	kg	kg	kg/cm ²	kg	%	kg	kg/cm ²	kg	%	kg	kg/cm ²	kg	%
0,00	0,00		0,0	0			0,0	0			0,0	0		
0,03	0,63		15,7	0,8			20,3	1,0			24,9	1,3		
0,05	1,27		20,3	1,0			24,9	1,3			32,5	1,7		
0,08	1,90		24,9	1,3			31,0	1,6			40,2	2,1		
0,10	2,54	1.36	29,5	1,5		2,2	37,1	1,9		2,7	52,4	2,7		3,9
0,20	5,08	2.04	34,1	1,8		1,7	46,3	2,4		2,3	57,0	2,9		2,8
0,30	7,62		37,1	1,9			52,4	2,7			61,6	3,2		
0,40	10,16		41,7	2,2			60,0	3,1			67,7	3,5		
0,50	12,70		49,3	2,5			67,7	3,5			81,4	4,2		

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

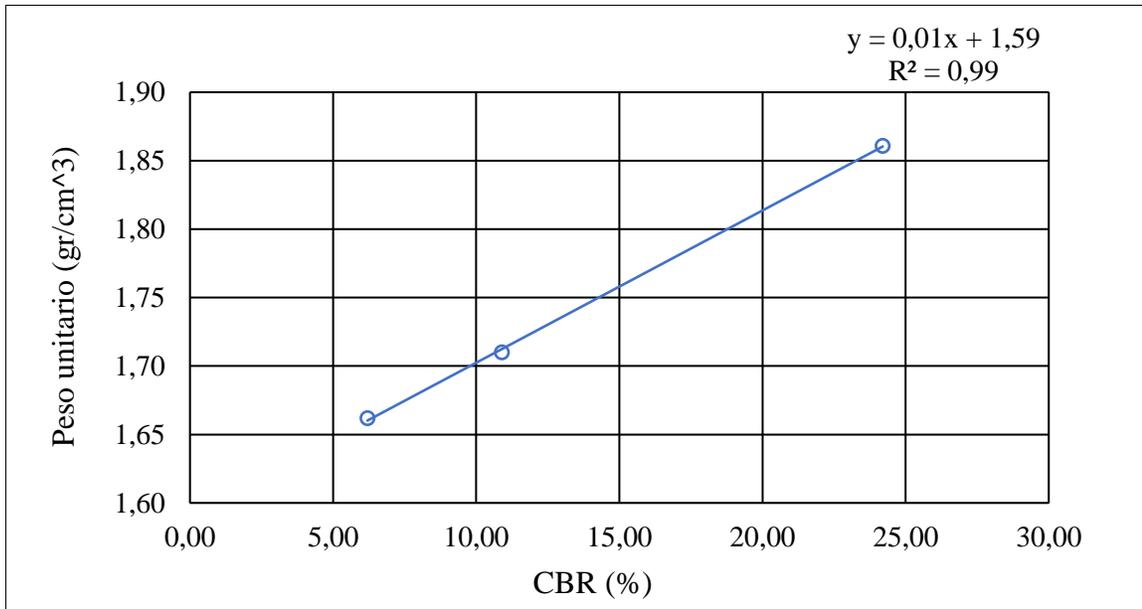
Relación de carga vs penetración de los 12, 25 y 56 golpes

Figura 3.6 Curva: Carga - Penetración



Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

Figura 3.7 Curva: CBR – Peso unitario



Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

Del gráfico se obtiene los siguientes resultados:

Densidad máxima al 95% CBR= 28%

Después de haber obtenido los análisis del estudio de suelos, se prosigue a realizar los ensayos de compactación y CBR, para cada tipo de suelo obtenido, tal y como nos muestra el siguiente cuadro:

Tabla 3.23 Resumen de los CBR de las muestras obtenidas

Tipo de suelo	CBR 95%
GP	41
SM	17
SW	25
GW	60
GM	28

Fuente: Gobierno autónomo municipal de Caraparí

El CBR de diseño será el menor valor obtenido de todos los ensayos realizados en el anterior cuadro.

3.2.2.8 Ensayos realizados para la verificación del estudio de suelos

Para la verificación de los ensayos proporcionados por el Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí, quien a su vez nos informó que los ensayos se realizaron por medio del laboratorio “Copas”. Se realizó 2 ensayos completos cerca de la fosa donde el resultado del CBR fue el menor valor de todos.

A continuación, se mostrará los valores obtenidos en laboratorio de una de las muestras tomadas en el tramo en cuestión, ubicada aproximadamente en la progresiva 1+080, para su análisis y confirmación de resultados.

• **Resultados de la muestra N°1 del tramo San Nicolas – Río Bermejo**

Tabla 3.24 Análisis granulométrico

Análisis por tamices del agregado grueso				P. húmedo	2.764,10	P. seco	2.755,40
Tamices		Peso		Porcentajes		% que pasa	Especificación
N°	(mm.)	Retenido (grs)	Acumulado (grs)	% retenido	% acumulado		
3"	75,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	
2"	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,00	160,00	160,00	5,80	5,80	94,20	
1/2"	12,50	110,00	270,00	4,00	9,80	90,20	
3/8"	9,50	110,00	380,00	4,00	13,80	86,20	
N° 4	4,75	125,00	505,00	4,50	18,30	81,70	
Análisis por tamices del agregado fino				Peso fino	500,00	% humedad	0,40
N° 10	2,00	22,00	22,00	4,40	95,60	78,10	
N° 40	0,425	18,30	40,30	8,10	91,90	75,10	
N° 100	0,150	29,70	70,00	14,10	85,90	70,20	
N° 200	0,075	411,00	481,00	96,60	3,40	2,80	
Límites de Atterberg (Límite líquido)							
N° de golpes	N° tara	P.sh+tara	P.ss+tara	Peso agua	Peso tara	P. suelo seco	% de hum.
Límites de Atterberg (Límite plástico)							
Límite líquido			Límite plástico		Índice de plasticidad		NP
Clasificación:		AASHTO	A-3 (0)		UNIFICADA		SP

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8 Imagen de las muestras 1 y 2 obtenidas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9 Imagen del cernido del material fino



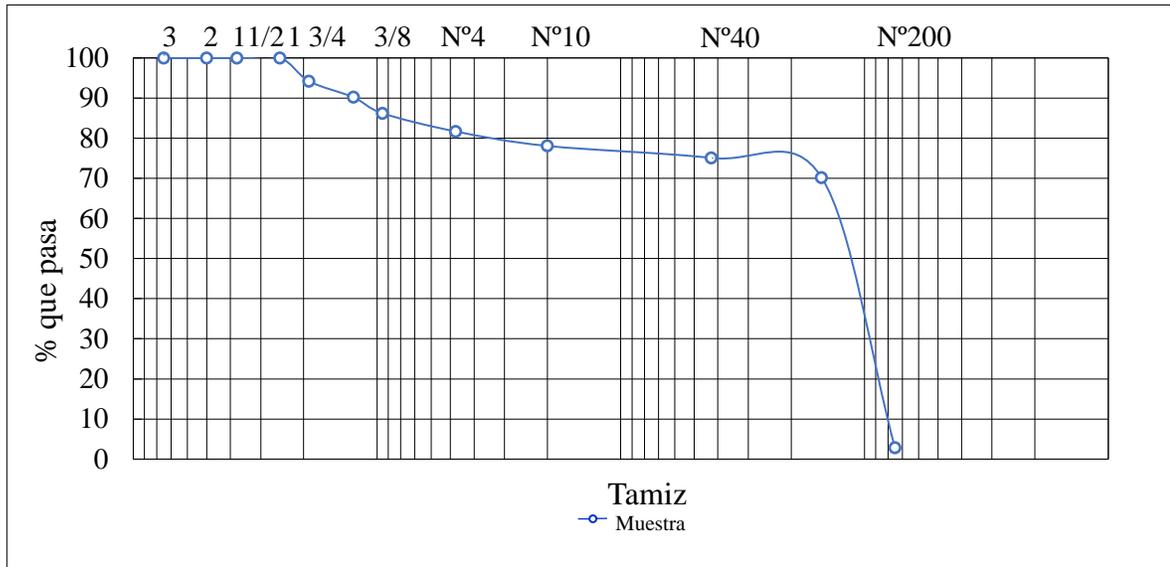
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10 Imagen de los tamices utilizados en la granulometría



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11 Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25 Planilla de compactación T - 180

Determinación N°	-	1,00	2,00	3,00	4,00
N° capas	-	5,00	5,00	5,00	5,00
N° golpes	-	56,00	56,00	56,00	56,00
Peso del molde + suelo húmedo	gr	10,67	10,92	11,06	11,06
Peso del molde	gr	6,43	6,43	6,43	6,43
Peso suelo húmedo	gr	4,24	4,50	4,63	4,63
Volumen del molde	cc	2,11	2,11	2,11	2,11
Peso específico húmedo	kg/m ³	2,01	2,14	2,20	2,20
Cápsula N°	-	38,00	40,00	35,00	20,00
Peso cápsula + suelo húmedo	gr	278,30	269,90	258,30	253,30
Peso cápsula + suelo Seco	gr	270,00	258,50	244,50	237,40
Peso agua	gr	8,00	11,00	14,00	16,00
Peso cápsula	gr	111,30	108,20	110,20	108,50
Peso suelo seco	gr	158,70	150,30	134,30	128,90
Contenido de humedad	%	5,20	7,60	10,30	12,30
Densidad seca	kg/m ³	1,91	1,99	1,99	1,96

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12 Imágenes del contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13 Imágenes de la compactación de las muestras



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14 Imágenes del enrazado después proceso de compactación

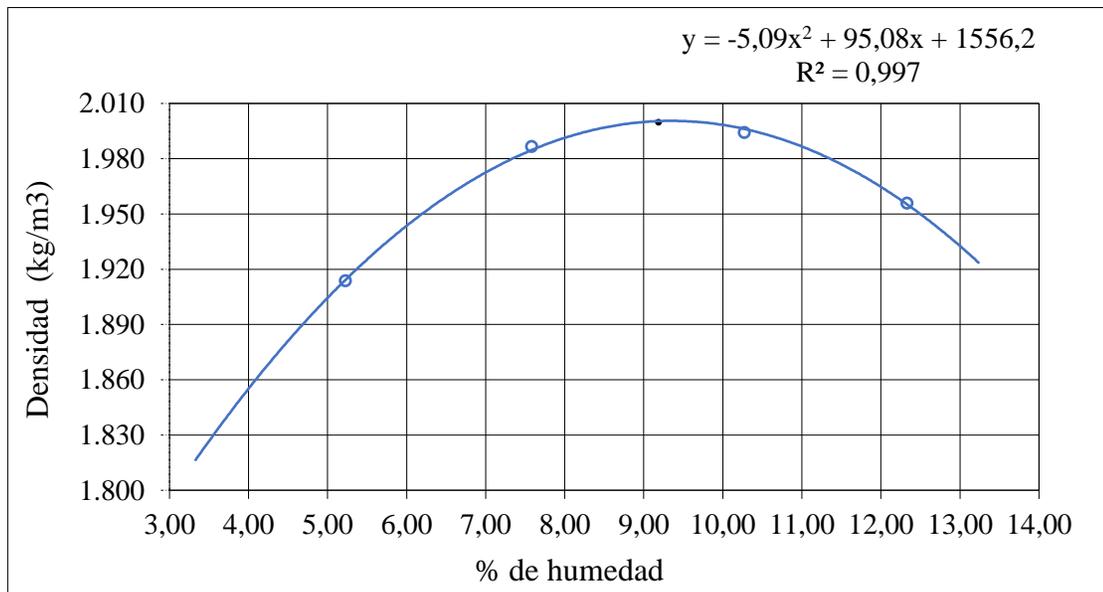


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15 Curva de compactación



Fuente: Elaboración propia

Del gráfico se obtiene:

Densidad máxima = 2,00 kg/cm³

Humedad óptima = 9,20 %

Tabla 3.26 Planilla de cálculo del C.B.R.

Ensayo de clasificación		Ensayo de compactación t-180			Anillo de carga					
AASHTO	UNIFICADA	Densidad máxima		Humedad óptima(%)	Digital	Y=A* (x) + b				
A-3 (0)	SP	2,00		9,20	a=	1,00	b=	0,00		
Compactación (Numero de capas = 5)				Contenido de humedad						
Prueba N°	1,00	2,00	3,00	Prueba N°	1,00	2,00	3,00			
Molde #	7,00	8,00	9,00	Tara N°	2,00	5,00	8,00			
# de golpes por capa	56,00	25,00	12,00	Tara + suelo hum. (gr)	250,40	252,50	268,10			
Peso Mh + molde (gr)	12.200,00	11.200,00	11.005,00	Tara + suelo seco. (gr)	236,00	237,00	252,40			
Peso del molde (gr)	7.558,00	6.707,00	6.604,00	Peso de agua (gr)	14,40	15,50	15,70			
Peso húmedo M (gr)	4.642,00	4.493,00	4.401,00	Peso tara (gr)	80,30	66,10	79,50			
Volumen molde (cm³)	2.121,00	2.120,00	2.123,00	Peso suelo seco (gr)	155,70	170,90	172,90			
Densidad húmeda (gr/cm³)	2,19	2,12	2,07	Contenido de humedad(%)	9,20	9,10	9,10			
Densidad seca (Kg/cm³)	2.003,31	1.943,11	1.900,44							
Porcentaje de compactación	100,18	97,17	95,03							
Penetración						Expansión				
(Pulg.)	(mm)	56 golpes		25 golpes		12 golpes		56 golpes	25 golpes	12 golpes
		Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)	Lec. Dial	Carga (kg)			
0,03	0,63	43,50	43,50	30,70	30,70	10,00	10,00	h. (cm)	h. (cm)	h. (cm)
0,03	1,27	121,30	121,30	75,40	75,40	54,40	54,40	11,60	11,60	11,60
0,08	1,90	221,20	221,20	176,80	176,80	143,50	143,50			
0,10	2,54	365,00	365,00	285,00	285,00	245,00	245,00	Lectura extensómetro		
0,13	3,81	543,00	543,00	423,00	423,00	310,20	310,20	(0,1 mm)		
0,20	5,08	945,00	945,00	715,00	715,00	621,20	621,20	0,00	0,00	0,00
0,30	7,62	1.321,20	1.321,20	1.021,00	1.021,00	823,40	823,40	0,00	0,00	0,00
Corrección de carga y CBR (56, 25 y 12 golpes)								0,00	0,00	0,00
Carga Y CBR 0,1"		365,00	26,80	285,00	20,90	245,00	18,00	0,00	0,00	0,00
								0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16 Imagen del humedecimiento del material



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17 Imagen de la compactación



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18 Imágenes del enrazado y pesado de los moldes



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.19 Imágenes de la lecturación de la expansión



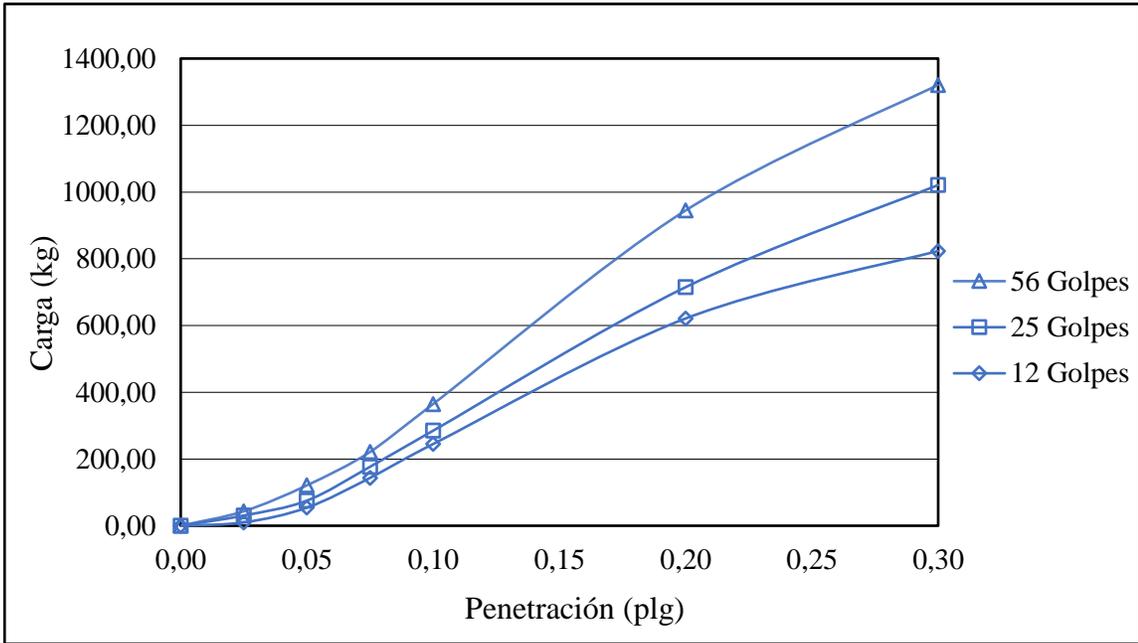
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20 Imagen haciendo correr la prensa del CBR



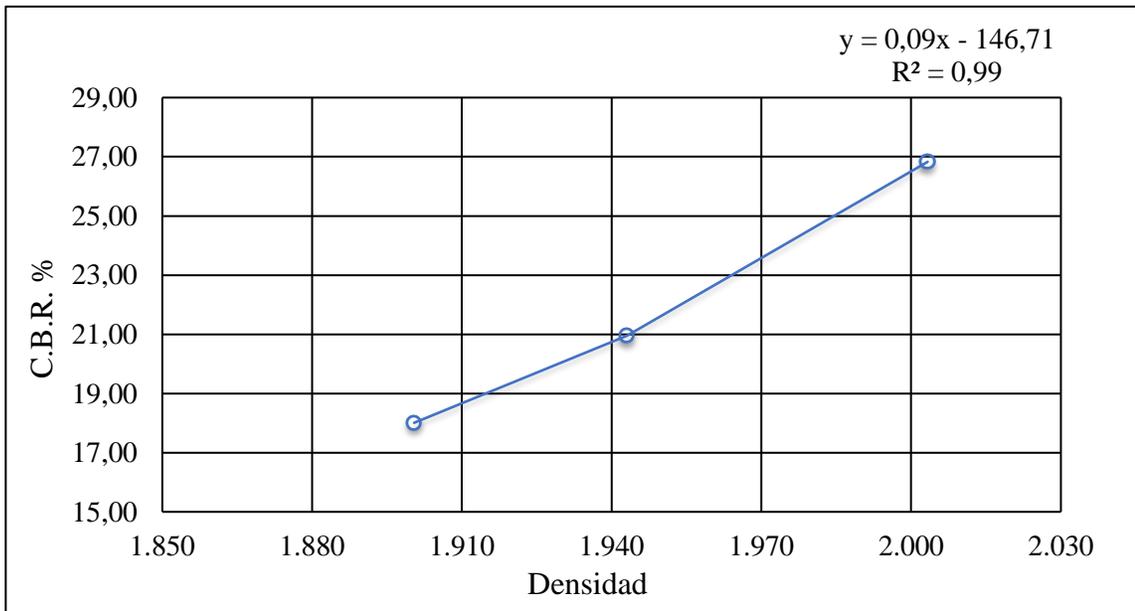
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.21 Curva: Carga - Penetración



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.22 Curva: CBR - Densidad



Fuente: Elaboración propia

Del gráfico se obtiene los siguientes resultados:

Densidad máxima al 95% CBR= 18%

Con los resultados obtenidos de los ensayos realizados para la verificación del estudio de suelos, se pudo constatar que los valores del CBR obtenidos en las 2 muestras son mayores al menor valor del CBR dado como resultado de los ensayos efectuados por el laboratorio “Copas”. Por lo tanto, se tomará el menor valor de CBR proporcionados por el Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí para realizar el diseño del paquete estructural del tramo San Nicolas – Río Bermejo.

Los cálculos de todos los ensayos de suelos encontrados en la zona de estudio se mostrarán en el ANEXO I ESTUDIOS PREVIOS.

3.2.3 Estudio de Tráfico

El 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 un año de referencia. Para caminos vecinales, se recomienda que la medición del TPDA esté desagregada en las siguientes categorías:

Livianos

Medianos

Pesados

Adicionalmente, si se tratara de la construcción y mejoramiento de un camino vecinal esté congestionado por altos volúmenes de tráfico vehicular, la información aquí registrada permitirá evaluar el potencial productivo y comercial del área de influencia del proyecto. A continuación, se muestra la clasificación vehicular que se realizó para el trabajo del conteo, el mismo que está de acuerdo a la clasificación del SEDECA, que sirvieron para realizar la clasificación vehicular en la realización del trabajo de conteo de tráfico:

- Vehículos livianos:

Autos y vagonetas

Camionetas

Camiones con capacidad hasta 2tn.

Micros livianos

- Vehículos semipesados:

Microbuses

Volquetas pequeñas

Buses medianos

Camiones medianos

- Vehículos pesados:

Volquetas grandes

Buses grandes

Camiones grandes

- Vehículos tráiler:

Camiones con acoplado

3.2.3.1 Cálculo del TPD

Los aforos de vehículos se efectúan sobre el mismo camino a diseñar, se realizaron de manera manual mediante las consideraciones más críticas, las cuales serían días hábiles como los días no hábiles, donde cada uno de esos días mencionados se realizó el aforamiento en un punto específico de San Nicolás con coordenadas norte $N=7.555.087,68$ y este $E=386.095,23$ con una elevación de $H=677$ msnm, ubicado a la entrada del camino hacia el Río Bermejo.

Figura 3.23 Imagen del punto de aforamiento del tráfico



Fuente: Elaboración con base en imagen y plataforma Google MyMaps Maxar© (2022)

Tabla 3.27 Conteo vehicular en ambas direcciones

Día	Hora	Livianos				Buses			Camiones				Otros	Total	
		Auto móviles	Camioneta - camión	Jeep - Vag	Minibús	Micro 22 asientos	Ómnibus 23 - 35 asientos	Ómnibus 36 o más asientos	Pequeño 6 Ton	Mediano 6 - 10 Ton	Grande 10 o más Ton	C/ Acoplado			
Primer día (lunes)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		2	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	5
%		40	0	20	0	0	0	0	0	40	0	0	0	100

Fuente: Elaboración propia

El conteo vehicular empezó el primer día de la semana y el resultado fue lo que se puede ver en el cuadro anterior, como se puede notar desde las 00:00 hasta las 5:00 a.m. no existe movimiento vehicular, así como también desde las 21:00 hasta las 24:00 p.m. por lo que se tomó en consideración para los días siguientes solo realizar el conteo desde las 6:00 a.m. hasta las 20:00 p.m.

Figura 3.24 Imagen punto de aforamiento



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.28 Resumen conteo vehicular en ambas direcciones

Día	Hora	Livianos				Buses			Camiones				Otros	Total	
		Auto móviles	Camioneta - camión	Jeep - Vag	Minibús	Micro 22 asientos	Ómnibus 23 - 35 asientos	Ómnibus 36 o más asientos	Pequeño 6 Ton.	Mediano 6 - 10 Ton	Grande 10 o más Ton	C / Acoplado			
Promedió 6 días	6	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	
	7	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	7	
	8	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	14	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	18	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	19	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total		10	6	3	0	0	0	0	0	7	0	0	0	26	
%		38	23	12	0	0	0	0	0	27	0	0	0	100	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.29 Porcentaje vehicular

Tipo de vehículo		Cantidad	Porcentaje (%)
Livianos	Automóviles	10	38
	Camioneta - camión	6	23
	Jeep - vagoneta	3	12
	Minibús	0	0
Buses	Micro (hasta 22 asientos)	0	0
	Bus mediano (23 a 35 asientos)	0	0
	Bus grande (más de 36 asientos)	0	0
Camiones	Camión pequeño (hasta 5,5 ton)	0	0
	Camión mediano (de 6 a 9,5 ton)	7	27
	Camión grande (10 ton o más)	0	0
	Camión con acoplado	0	0
Total:		26	100

Fuente: Elaboración propia

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

$$\text{TPD} = 26 \text{ Veh/día}$$

3.2.3.2 Proyección de Tráfico

El proyecto de caminos nuevos no debe basarse solamente en las características del volumen del tráfico actual, sino que se debe tomar en cuenta también los probables en años futuros. De esta manera el volumen de proyecto ha de corresponder al del año escogido para proyectar.

Como base para un proyecto, generalmente se usa un periodo de hasta 20 años. Estimar el tráfico más allá de ese periodo no se justifica, debido a que para ese entonces surgirán

cambios en la economía regional, en la población, en el desarrollo de los terrenos ubicados a lo largo de la vida en los sistemas de transporte, que no se puede predecir con ningún grado de seguridad.

$$n = 20 \text{ años}$$

3.2.3.3 Índice de Crecimiento

Este parámetro constituye unos importantes datos para obtener el porcentaje anual de crecimiento de los diferentes vehículos que se producen durante el periodo de diseño adoptado. Para su determinación se usa un proceso iterativo con ayuda de la ecuación que se señala a continuación.

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

Donde:

FC = Factor de crecimiento del vehículo.

IC = Índice de crecimiento del vehículo.

N = Número de años hasta el periodo de diseño: 20 años (carpeta asfáltica).

3.2.3.4 Tráfico normal, generado y derivado

- **Tráfico normal**

Para la proyección del tráfico normal se utilizó la tasa de crecimiento promedio local entre el parque automotor, producto interno bruto y el índice de crecimiento poblacional el cual es de 5,10%.

Tabla 3.30 Tasa de crecimiento promedio

Variable	Local %	Nacional %
Población departamento	1,60	1,70
Producto interno bruto	4,50	4,60
Parque vehicular	9,20	9,90
Promedio	5,10	5,40

Fuente: Elaboración propia

- **Tráfico Generado**

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

En las carreteras de Bolivia de acuerdo a los manuales de la administradora boliviana de carreteras (ABC) se tiene como tráfico del 30% del tráfico normal para vehículos livianos y 10% para vehículos de carga, cuando se trata de una mejora de carretera no pavimentada a pavimentada.

Para este proyecto se utilizará un tráfico generado del 10% del tráfico normal.

- **Tráfico Derivado**

El tráfico derivado se produce cuando existe rutas paralelas, utilizando el tráfico para la ruta de menor costo, la cual no necesariamente es la más corta. Por ellos, la pavimentación de una carretera puede traer el tráfico de una ruta paralela, debido a las mayores velocidades que se imprimen en carreteras.

En caso de nuestro proyecto se aplicará un tráfico derivado del 5% del tráfico normal.

Tabla 3.31 Tráfico normal

Año	Nº	Livianos				Buses			Camiones				Otros	Total
		Auto móviles	Camioneta - camión	Jeep - Vag	Minibús	Micro 22 asientos	Ómnibus 23 - 35 asientos	Ómnibus 36 o más asientos	Pequeño 6 Ton.	Mediano 6 - 10 Ton	Grande 10 o más Ton	C / Acoplado		
2023	0	10	6	3	0	0	0	0	0	7	0	0	0	26
2024	1	11	6	3	0	0	0	0	0	7	0	0	0	27
2025	2	11	7	3	0	0	0	0	0	8	0	0	0	29
2026	3	12	7	3	0	0	0	0	0	8	0	0	0	30
2027	4	12	7	4	0	0	0	0	0	9	0	0	0	32
2028	5	13	8	4	0	0	0	0	0	9	0	0	0	34
2029	6	13	8	4	0	0	0	0	0	9	0	0	0	34
2030	7	14	8	4	0	0	0	0	0	10	0	0	0	36
2031	8	15	9	4	0	0	0	0	0	10	0	0	0	38
2032	9	16	9	5	0	0	0	0	0	11	0	0	0	41
2033	10	16	10	5	0	0	0	0	0	12	0	0	0	43
2034	11	17	10	5	0	0	0	0	0	12	0	0	0	44
2035	12	18	11	5	0	0	0	0	0	13	0	0	0	47
2036	13	19	11	6	0	0	0	0	0	13	0	0	0	49
2037	14	20	12	6	0	0	0	0	0	14	0	0	0	52
2038	15	21	13	6	0	0	0	0	0	15	0	0	0	55
2039	16	22	13	7	0	0	0	0	0	16	0	0	0	58
2040	17	23	14	7	0	0	0	0	0	16	0	0	0	60
2041	18	24	15	7	0	0	0	0	0	17	0	0	0	63
2042	19	26	15	8	0	0	0	0	0	18	0	0	0	67
2043	20	27	16	8	0	0	0	0	0	19	0	0	0	70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.32 Tráfico generado

Año	Nº	Livianos				Buses			Camiones				Otros	Total
		Auto móviles	Camioneta - camión	Jeep - Vag	Minibús	Micro 22 asientos	Ómnibus 23 - 35 asientos	Ómnibus 36 o más asientos	Pequeño 6 Ton.	Mediano 6 - 10 Ton	Grande 10 o más Ton	C / Acoplado		
2023		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2024	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2025	2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2026	3	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2027	4	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2028	5	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2029	6	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2030	7	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2031	8	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4
2032	9	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
2033	10	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
2034	11	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
2035	12	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
2036	13	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
2037	14	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
2038	15	2	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	6
2039	16	2	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	6
2040	17	2	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	6
2041	18	2	2	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	7
2042	19	3	2	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8
2043	20	3	2	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.33 Tráfico derivado

Año	N°	Livianos				Buses			Camiones				Otros	Total
		Auto móviles	Camioneta - camión	Jeep - Vag	Minibús	Micro 22 asientos	Ómnibus 23 - 35 asientos	Ómnibus 36 o más asientos	Pequeño 6 Ton.	Mediano 6 - 10 Ton	Grande 10 o más Ton	C / Acoplado		
2023		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2024	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2025	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2026	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2027	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2028	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2029	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2030	7	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
2031	8	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
2032	9	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
2033	10	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2034	11	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2035	12	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2036	13	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2037	14	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2038	15	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2039	16	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2040	17	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2041	18	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2042	19	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3
2043	20	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.34 Tráfico promedio anual

Año	Nº	Livianos				Buses			Camiones				Otros	Total
		Auto móviles	Camioneta - camión	Jeep - Vag	Minibús	Micro 22 asientos	Ómnibus 23 - 35 asientos	Ómnibus 36 o más asientos	Pequeño 6 Ton.	Mediano 6 - 10 Ton	Grande 10 o más Ton	C/ Acoplado		
2023	0	10	6	3	0	0	0	0	0	7	0	0	0	26
2024	1	13	7	3	0	0	0	0	0	8	0	0	0	31
2025	2	13	8	3	0	0	0	0	0	9	0	0	0	33
2026	3	14	8	3	0	0	0	0	0	9	0	0	0	34
2027	4	14	8	4	0	0	0	0	0	10	0	0	0	36
2028	5	15	9	4	0	0	0	0	0	10	0	0	0	38
2029	6	15	9	4	0	0	0	0	0	10	0	0	0	38
2030	7	16	9	4	0	0	0	0	0	12	0	0	0	41
2031	8	18	10	4	0	0	0	0	0	12	0	0	0	44
2032	9	19	10	6	0	0	0	0	0	13	0	0	0	48
2033	10	19	12	6	0	0	0	0	0	14	0	0	0	51
2034	11	20	12	6	0	0	0	0	0	14	0	0	0	52
2035	12	21	13	6	0	0	0	0	0	15	0	0	0	55
2036	13	22	13	7	0	0	0	0	0	15	0	0	0	57
2037	14	23	14	7	0	0	0	0	0	16	0	0	0	60
2038	15	24	15	7	0	0	0	0	0	18	0	0	0	64
2039	16	25	15	8	0	0	0	0	0	19	0	0	0	67
2040	17	26	16	8	0	0	0	0	0	19	0	0	0	69
2041	18	27	18	8	0	0	0	0	0	20	0	0	0	73
2042	19	30	18	9	0	0	0	0	0	21	0	0	0	78
2043	20	31	19	9	0	0	0	0	0	22	0	0	0	81

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.35 Proyección del TPDA – Tránsito total

Año	Tráfico: San Nicolas – Río Bermejo			
	Normal	Generado	Derivado	Total
2023	26	0	0	26
2024	27	3	1	31
2025	29	3	1	33
2026	30	3	1	34
2027	32	3	1	36
2028	34	3	1	38
2029	34	3	1	38
2030	36	3	2	41
2031	38	4	2	44
2032	41	5	2	48
2033	43	5	3	51
2034	44	5	3	52
2035	47	5	3	55
2036	49	5	3	57
2037	52	5	3	60
2038	55	6	3	64
2039	58	6	3	67
2040	60	6	3	69
2041	63	7	3	73
2042	67	8	3	78
2043	70	8	3	81

Fuente: Elaboración propia

El tráfico promedio diario anual de diseño:

$$TPDA_{\text{diseño}} = 81 \text{ Veh/día}$$

3.2.3.5 Cálculo del número de ejes equivalentes

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

$$W_{18} = \sum (TPD)_i * (FC)_1 * (FCE)_i * 365$$

Donde:

W_{18} = Número de ejes equivalentes

$(TPD)_i$ = Tráfico promedio diario del vehículo tipo i, en el primer año de circulación.

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

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

Tabla 3.36 Factor de carga equivalente

Automóviles	Eje delantero	Eje trasero	Factor de carga
Peso (ton)	1	1	0,000768
LEF	0,000384	0,000384	
Camionetas	Eje delantero	Eje trasero	Factor de carga
Peso (ton)	1,6	3,3	0,023933
LEF	0,001573	0,02236	
Buses	Eje delantero	Eje trasero	Factor de carga
Peso (ton)	4,2	5,5	0,2329
LEF	0,05825	0,17465	
Camiones	Eje delantero	Eje trasero	Factor de carga
Peso (ton)	3	5,5	0,32883
LEF	0,15418	0,17465	

Fuente: ESALs para cada clase de vehículo en pavimento flexible según el servicio nacional de caminos SNC

El proceso consiste en dar valores de i de tal forma que la suma de los tráficos promedios diarios hasta el año obtenidos con las ecuaciones de regresión sea igual a la suma de los tráficos promedios diarios iterando la fórmula señalada. De esta manera se obtiene los índices de crecimiento para cada tipo de vehículo, los cuales nos servirán para determinar el factor de crecimiento de mismos, factores que están utilizados para la determinación del número de ejes equivalentes y así obtener el número de ESALs.

Tabla 3.37 Cálculo del número de ESALs

Año	Automóviles	Camioneta - camión	Jeep - vag	Med. 6 - 10
2023	10	6	3	7
2024	13	7	3	8
2025	13	8	3	9
2026	14	8	3	9
2027	14	8	4	10
2028	15	9	4	10
2029	15	9	4	10
2030	16	9	4	12
2031	18	10	4	12
2032	19	10	6	13
2033	19	12	6	14
2034	20	12	6	14
2035	21	13	6	15
2036	22	13	7	15
2037	23	14	7	16
2038	24	15	7	18

2039	25	15	8	19
2040	26	16	8	19
2041	27	18	8	20
2042	30	18	9	21
2043	31	19	9	22
Total	415	249	119	293
Factor equivalente	0,000768	0,023933	0,000768	0,328830
ESALs	116,33	2.175,15	33,36	35.166,72

Fuente: Elaboración propia

Numero de ESALs = 37.492

El detalle del estudio de tráfico se encuentra en el ANEXO I ESTUDIOS PREVIOS.

3.2.4 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 presente proyecto serán las cunetas y alcantarillas.

Estos caudales se calcularán 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.

3.2.4.1 Análisis de datos

Primeramente, se hizo un análisis de las estaciones más cercanas a la zona de proyecto, que aportaran datos sobre las precipitaciones propias de la zona.

En la siguiente tabla se presentan las estaciones más cercanas a la zona de proyecto:

Tabla 3.38 Coordenadas de las estaciones en estudio

Estaciones analizadas	Ubicación		
	Latitud (s)	Longitud (w)	Altura (msnm)
Yacuiba Aeropuerto	21° 57' 56"	63° 39' 16"	581
Itau	21° 42' 15"	63° 52' 07"	801
Caraparí	21° 50' 00"	63° 45' 00"	806

Fuente: Elaboración propia

Se procede a realizar el análisis de consistencia y homogeneidad para ver que estaciones podemos utilizar para el proyecto.

3.2.4.2 Análisis de consistencia y homogeneidad

Consiste en realizar un análisis de la información disponible, mediante criterios físicos y métodos estadísticos que permitan identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que hayan podido ocurrir, sea por causas naturales u ocasionadas por la intervención de la mano del hombre.

Inconsistencia, son los errores sistemáticos que se presentan como saltos y tendencias en las series muestrales.

La no homogeneidad en los datos de precipitación, se produce por movimiento de la estación, cambios en el medio ambiente que rodea la estación, etc.

Realizados estos análisis, se procede a descartar a las estaciones que no cumplen al realizar tanto el análisis de consistencia y el test de Mann Kendall.

Tabla 3.39 Estaciones a usar para el estudio hidrológico

Estaciones analizadas	Ubicación		
	Latitud (s)	Longitud (w)	Altura (msnm)
Yacuiba Aeropuerto	21° 57' 56"	63° 39' 16"	581
Itau	21° 42' 15"	63° 52' 07"	801

Fuente: Elaboración propia

3.2.4.3 Determinación de lluvias máximas mediante Gumbell modificado.

Obtenidos las estaciones a usar se procede al cálculo de la intensidad de la zona de proyecto mediante el método de la curva IDF (intensidad duración y frecuencia). Iniciamos calculando los valores representativos de las series de datos tal como ser media, desviación estándar, moda y la característica (k).

La siguiente tabla detalla la obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de altura de precipitación máxima diaria y horaria.

Tabla 3.40 Parámetros para el cálculo de lluvias máximas

Datos	Yacuiba Aeropuerto	Itau
Media	102,67	77,75
Desviación (S)	41,41	22,55
Varianza	1.714,98	508,31
Moda (E)	84,04	67,61
E*Nro	6.134,61	1.960,58
Caract. (K)	0,88	0,60
K*Nro	64,59	17,36
Nro datos	73,00	29,00

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la altura de precipitación máxima horaria se aplica la expresión:

$$HtT = Edp * \left(\frac{tc}{\alpha}\right)^{\beta} * (1 + Kdp * \text{Log}T)$$

Tabla 3.41 Lluvias máximas horarias

Lluvias máximas horarias (mm) para diferentes tiempos (t)											
T (años)	Duración de la lluvia [min) y (hrs)										
	30	40	180	202,8	240	300	360	420	540	600	720
	0,50	0,67	3,00	3,38	4,00	5,00	6,00	7,00	9,00	10,00	12,00
100	109,57	116,06	156,79	160,58	166,08	173,66	180,11	185,75	195,32	199,48	206,89
50	99,41	105,29	142,25	145,68	150,67	157,55	163,40	168,51	177,20	180,97	187,69
20	85,97	91,06	123,02	125,99	130,30	136,25	141,31	145,73	153,25	156,51	162,32
10	75,80	80,29	108,47	111,09	114,89	120,14	124,60	128,50	135,12	138,00	143,13
5	65,64	69,52	93,92	96,19	99,49	104,03	107,89	111,27	117,00	119,49	123,93

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.42 Cálculo de intensidades

Intensidades [mm/h]											
T (años)	Duración de la lluvia [min) y (hrs)										
	30	40	180	202,8	240	300	360	420	540	600	720
	0,50	0,67	3,00	3,38	4,00	5,00	6,00	7,00	9,00	10,00	12,00
100	219,14	174,09	52,26	47,51	41,52	34,73	30,02	26,54	21,70	19,95	17,24
50	198,81	157,94	47,42	43,10	37,67	31,51	27,23	24,07	19,69	18,10	15,64
20	171,93	136,59	41,01	37,27	32,58	27,25	23,55	20,82	17,03	15,65	13,53
10	151,60	120,44	36,16	32,87	28,72	24,03	20,77	18,36	15,01	13,80	11,93
5	131,27	104,29	31,31	28,46	24,87	20,81	17,98	15,90	13,00	11,95	10,33

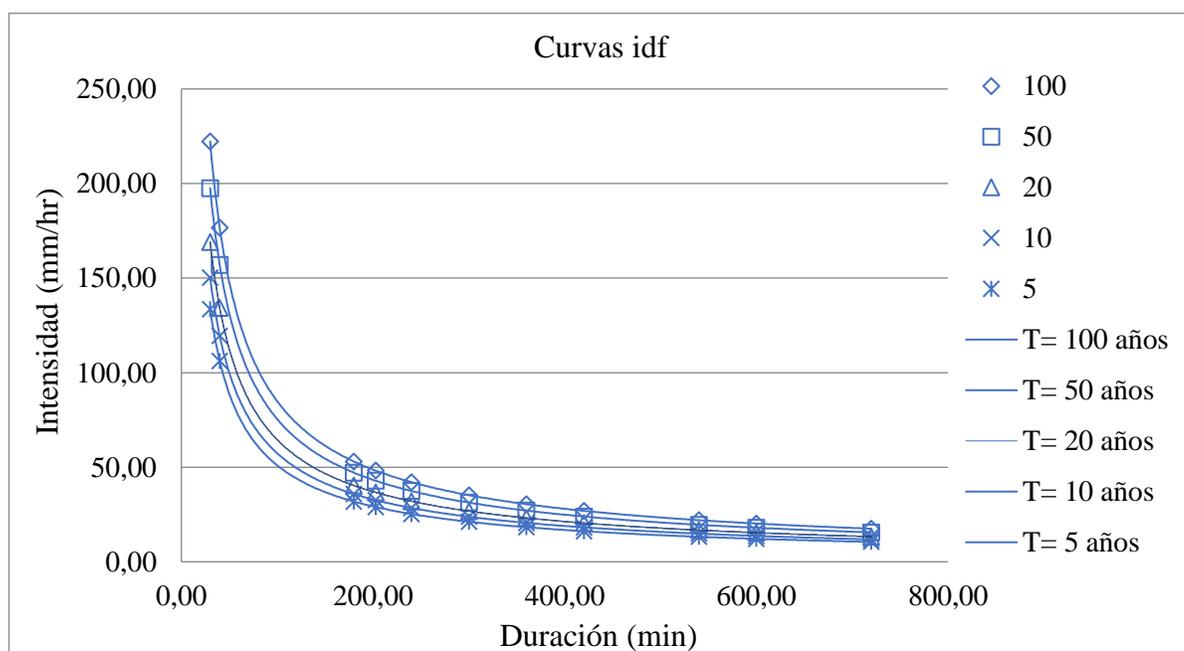
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.43 Intensidad - duración - frecuencia

Intensidad - Duración - Frecuencia											
T (años)	Duración t(min)										
	30	40	180	203	240	300	360	420	540	600	720
	0,50	0,67	3,00	3,38	4,00	5,00	6,00	7,00	9,00	10,00	12,00
100	222,29	176,59	53,02	48,19	42,12	35,23	30,45	26,92	22,01	20,23	17,49
50	197,57	156,95	47,12	42,83	37,43	31,31	27,06	23,92	19,57	17,98	15,54
20	169,06	134,30	40,32	36,65	32,03	26,79	23,16	20,47	16,74	15,39	13,30
10	150,25	119,36	35,83	32,57	28,47	23,81	20,58	18,19	14,88	13,68	11,82
5	133,54	106,09	31,85	28,95	25,30	21,17	18,29	16,17	13,23	12,16	10,51

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.25 Curvas: Intensidad - duración – frecuencia



Fuente: Elaboración propia

3.2.4.4 Intensidad de la lluvia

Se aplicará el modelo propuesto por Bernard: El cual relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el periodo de retorno con una familia de curvas por la ecuación siguiente:

$$I = \frac{1543,2 * T^{0,1701}}{D^{0,80}}$$

$$I = \frac{1543,2 * 50^{0,1701}}{202,8^{0,80}}$$

$$I = 42,83mm/hr$$

Donde:

I = Intensidad de la lluvia, en mm/h

D = Tiempo de duración de la tormenta, en min

T = Periodo de retorno, en años.

El detalle del estudio hidrológico se encuentra en el ANEXO I ESTUDIOS PREVIOS.

3.2.5 Resumen de los datos obtenidos de los estudios previos al diseño

A continuación, se mostrará una tabla con un resumen de los datos a utilizar en el diseño geométrico, en el diseño estructural y las obras complementarias.

Tabla 3.44 Datos a utilizar en el diseño del proyecto

Estudio topográfico	
Número de puntos topográficos	1.354,00
Estudio geotécnico	
Número de muestras	10,00
Tipos de suelos	5,00
CBR de diseño	17,00 %
Estudio de tráfico	
TPDA.	81,00 Veh/día
Número de ESALs	37.492,00
Estudio hidrológico	
Periodo de retorno	50,00 años
Intensidad máxima	42,83 mm/hr

Fuente: Elaboración propia

3.3 Diseño geométrico

3.3.1 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.

3.3.2 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).

3.3.3 Velocidad del 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 y 40 km/h
- Terreno ondulado fuerte a montañoso 30 km/h

Según la categoría del camino, la velocidad de diseño para el tipo de terreno es de 30 km/h para el tramo San Nicolas – Río Bermejo del municipio de Caraparí.

3.3.4 Diseño planimétrico

3.3.4.1 Parámetros de diseño horizontal

Tabla 3.45 Parámetros de diseño horizontal

Categoría del camino según la ABC	Desarrollo	Unidades
Topografía	Montañoso	-
Velocidad de diseño	30,00	Km/hora
Peralte máximo	7,00	%
Coef. de fricción transversal	0,215	-
Radio mínimo	25,00	m
Distancia mínima de frenado	25,00	m
Berma a cada lado	0,50	m
Ancho total de plataforma	5,00	m
Ancho de carril	2,50	m
Derecho de vía	50,00	m

Fuente: Elaboración propia

Todos los parámetros adoptados, fueron extraídos de la norma ABC para el posterior diseño de la carretera.

3.3.4.2 Cálculo para curvas horizontales

A continuación, se muestra el cálculo que se realizó utilizando las fórmulas empíricas para una curva circular simple y una curva circular con transición :

Curva 1: Curva circular simple

Cálculo de los elementos:

$$\Delta = \text{ángulo de deflexión} = 28^{\circ} \quad 23' \quad 20'' = 28,39^{\circ}$$

$$R = \text{radio de curvatura} = 40,00 \quad \text{m}$$

$$\text{Tangente:} \quad T = R * Tg\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad T = 10,12 \quad \text{m}$$

$$\text{Externa:} \quad E = R * \left[Sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1 \right] \quad E = 1,26 \quad \text{m}$$

Flecha:	$f = R * \left[1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right) \right]$	f =	1,22	m
Long de la cuerda	$Lc = 2 * R * \text{Sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right)$	Lc =	19,62	m
Desarrollo de curva	$Dc = \frac{2 * \pi * R * \Delta}{360}$	Dc =	19,82	m

Curva 5: Curva circular de transición

Cálculo de los elementos:

$\Delta c = \text{ángulo de deflexión} = 27^\circ 41' 55'' = 27,70^\circ$

R = radio de curvatura = 100,00 m

Tangente:	$T = R * \text{Tg}\left(\frac{\Delta c}{2}\right)$	T =	24,65	m
-----------	--	-----	-------	---

Externa:	$E = R * \left[\text{Sec}\left(\frac{\Delta c}{2}\right) - 1 \right]$	E =	2,99	m
----------	--	-----	------	---

Flecha:	$f = R * \left[1 - \cos\left(\frac{\Delta c}{2}\right) \right]$	f =	2,91	m
---------	--	-----	------	---

Long de la cuerda	$Lc = 2 * R * \text{Sen}\left(\frac{\Delta c}{2}\right)$	Lc =	47,87	m
-------------------	--	------	-------	---

Desarrollo de curva	$Dc = \frac{2 * \pi * R * \Delta c}{360}$	Dc =	48,34	m
---------------------	---	------	-------	---

Longitud mínima de la espiral:	$L_{\text{mín}} = 0,0351 * \frac{V^3}{R}$	Lmín =	9,48	Lmín = 10,00 m
--------------------------------	---	--------	------	----------------

Ángulo de deflexión:	$\Delta s = 57,2958 * \frac{L_{\text{mín}}}{2 * R}$	$\Delta s =$	2°51'53,24"
----------------------	---	--------------	-------------

Coordenadas de la espiral:	$X = L - \frac{L^3}{40 * R^3}$	X =	10,00
----------------------------	--------------------------------	-----	-------

	$Y = \frac{L^2}{6 * R}$	Y =	0,17
--	-------------------------	-----	------

Desplazamientos:	$X_{pc} = X - R * \text{sen}\Delta s$	Xpc =	5,00
------------------	---------------------------------------	-------	------

	$Y_{pc} = Y - R * (1 - \text{cos}\Delta s)$	Ypc =	0,04
--	---	-------	------

Tangente: $Es = (R + Y_{pc}) * \left(\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1\right) + Y_{pc}$ $Ts = 35,04$

Externa: $Ts = (R + Y_{pc}) * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) + X_{pc}$ $Es = 4,45$

Desarrollo: $D = 2 * L + Dc$ $D = 68,34$

En la siguiente tabla se mostrará los elementos del diseño las curvas horizontales.

3.3.4.3 Resumen del cálculo de las curvas horizontales

Tabla 3.46 Detalle de curvas horizontales

Nº Curva	Prog. inicio transición	Prog. Inicio curva	Prog. final curva	Prog. final transición	Radio (m)	Desarrollo de curva (m)	Tipo de curva
1	-	PC 0+043,20	FC 0+063,02	-	40	19,82	Simple
2	-	PC 0+134,54	FC 0+162,80	-	50	28,26	Simple
3	-	PC 0+205,75	FC 0+230,80	-	50	25,04	Simple
4	-	PC 0+278,57	FC 0+313,24	-	30	34,67	Simple
5	TS 0+433,45	SC 0+443,45	CS 0+491,80	ST 0+501,80	100	68,34	Espiral
6	TS 0+556,44	SC 0+571,44	CS 0+602,28	ST 0+617,28	80	60,84	Espiral
7	-	PC 0+683,78	FC 0+707,75	-	30	23,98	Simple
8	-	PC 0+751,30	FC 0+773,15	-	120	21,86	Simple
9	TS 0+817,92	SC 0+822,92	CS 0+883,11	ST 0+888,11	210	70,19	Espiral
10	-	PC 0+997,60	FC 1+023,40	-	210	25,80	Simple
11	-	PC 1+193,06	FC 1+215,45	-	40	22,39	Simple
12	-	PC 1+258,07	FC 1+301,43	-	30	43,37	Simple
13	TS 1+460,94	SC 1+470,94	CS 1+551,05	ST 1+561,05	100	100,11	Espiral
14	-	PC 1+658,80	FC 1+704,93	-	110	46,14	Simple
15	TS 2+201,74	SC 2+206,74	CS 2+231,93	ST 2+236,93	200	35,19	Espiral
16	TS 2+549,66	SC 2+559,66	CS 2+632,28	ST 2+642,28	150	92,62	Espiral

17	-	PC 2+894,05	FC 2+922,80	-	220	28,75	Simple
18	-	PC 3+248,32	FC 3+277,56	-	250	29,24	Simple
19	-	PC 3+447,73	FC 3+475,18	-	150	27,45	Simple
20	ST 3+554,74	SC 3+564,74	CS 3+616,71	ST 3+626,71	150	71,97	Espiral
21	-	PC 3+761,93	FC 3+792,08	-	180	30,15	Simple
22	-	PC 3+897,32	FC 3+943,88	-	150	46,56	Simple
23	TS 4+186,07	SC 4+196,07	CS 4+261,40	ST 4+271,40	150	85,33	Espiral
24	TS 4+399,70	SC 4+404,70	CS 4+434,04	ST 4+439,04	200	39,34	Espiral
25	-	PC 4+580,00	FC 4+606,01	-	160	26,02	Simple
26	TS 4+698,78	SC 4+708,78	CS 4+743,27	ST 4+753,27	120	54,49	Espiral
27	-	PC 4+959,72	FC 5+011,63	-	100	51,91	Simple

Fuente: Elaboración propia

El detalle del diseño planimétrico se muestra en el ANEXO II DISEÑO GEOMÉTRICO.

3.3.5 Diseño altimétrico.

3.3.5.1 Parámetros de diseño verticales

Tabla 3.47 Parámetros de diseño verticales

Categoría del camino según la ABC	Desarrollo	Unidades
Topografía	Montañoso	-
Velocidad de diseño	30,00	Km/hora
Pendiente longitudinal máxima	12,00	%
Derecho de vía	50,00	m
Coef. Kc mínimo cóncavo	400,00	-
Coef. Kv mínimo convexo	300,00	-

Fuente: Elaboración propia

Todos los parámetros adoptados, fueron extraídos de la norma ABC para el posterior diseño de la carretera.

3.3.5.2 Cálculo de curvas verticales

A continuación, se muestra el cálculo que se realizó utilizando las fórmulas empíricas para una curva en cóncava y una curva convexa:

Curva 1 cóncava

Diferencia de pendientes (P)

$$g_1 = -2,31$$

$$g_2 = 5,13$$

$$P = 7,44 \quad \text{Se diseña la curva}$$

Cálculo de distancia de visibilidad para parar

$$V = 30 \text{ km/hr}$$

$$t = 1,75 \text{ seg}$$

$$f = 0,40$$

$$i = -0,0231 \text{ m/m}$$

$$do = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (f \pm i)}$$

$$do = 23,98 \text{ m}$$

Cálculo de la longitud mínima

$$\text{Altura de los faros del vehículo (H1)} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Ángulo que forma el cono luminoso } (\alpha) = 1^\circ$$

$$do < L_{\text{mín}}$$

$$L_{\text{mín}} = \frac{P * do^2}{2 * (H_1 + do * tg \alpha)}$$

$$L_{\text{mín}} = 21,01 \quad \text{No cumple}$$

do > Lmín

$$L_{\min} = 2 * do - \frac{2 * (Hl + do * \tan \alpha)}{P}$$

$$L_{\min} = 20,59 \quad \text{Cumple}$$

Se adopta como longitud de curva simétrica L = 80,00 m

Replanteo

$$g1 = -2,31$$

$$g2 = 5,13$$

$$P = -0,0744$$

$$L = 80,00 \text{ m}$$

$$L1 = 40,00 \text{ m}$$

$$L2 = 40,00 \text{ m}$$

$$y = \frac{P * x^2}{2 * L}$$

$$D = \frac{P(\%) * dh}{100}$$

$$Cot_{\text{terreno}} = D \pm y$$

Cálculo del punto más bajo

$$Xp = 24,84 \text{ m} \quad \text{Esta en la curva} \quad Xp = \frac{L * g1}{g1 - g2}$$

$$\text{Progresiva del punto más bajo} = 0 + 196,55$$

Curva 2 convexa

Diferencia de pendientes (P)

$$g1 = 5,13$$

$$g2 = -4,60$$

$$P = 9,73 \quad \text{Se diseña la curva}$$

Cálculo de distancia de visibilidad para parar

$$V = 30 \text{ km/hr}$$

$$t = 1,75 \text{ seg}$$

$$f = 0,40$$

$$i = -0,0513 \text{ m/m}$$

$$do = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (f \pm i)}$$

$$do = 22,43 \text{ m}$$

Cálculo de la longitud mínima

Altura del ojo del conductor (H) = 1,14 m

Altura del chasis del vehículo (h) = 0,15 m

do < Lmín

$$L_{\text{min}} = \frac{P * do^2}{2 * (H + h)^2}$$

$$L_{\text{mín}} = 14,71 \quad \text{No cumple}$$

do > Lmín

$$L_{\text{min}} = 2 * do - \frac{2 * (H + h)^2}{P}$$

$$L_{\text{mín}} = 10,66 \quad \text{Cumple}$$

Se adopta como longitud de curva simétrica L = 80,00 m

Replanteo

$$g1 = 5,13$$

$$g2 = -4,60$$

$$P = 0,0973$$

$$L = 80,00 \text{ m}$$

$$L1 = 40,00 \text{ m}$$

$$L2 = 40,00 \text{ m}$$

$$y = \frac{P * x^2}{2 * L}$$

$$D = \frac{P(\%) * dh}{100}$$

$$Cot_{\text{terreno}} = D \pm y$$

Cálculo del punto más alto

$$Xp = 42,19 \text{ m} \quad \text{Esta en la curva} \quad Xp = \frac{L * g1}{g1 - g2}$$

$$\text{Progresiva del punto más alto} = 0 + 648,94$$

En la siguiente tabla se mostrará los elementos de las curvas verticales correspondientes al tramo.

3.3.5.3 Resumen del cálculo de las curvas verticales

Tabla 3.48 Detalle de curvas verticales

N° Curva	Progresiva inicial	Progresiva final	Pendiente de entrada %	Pendiente de salida %	Longitud de curva	Tipo de curva
1	0+171,71	0+251,71	-2,31	5,13	80,00	Cóncava
2	0+606,75	0+686,75	5,13	-4,60	80,00	Convexa
3	0+964,76	1+044,76	-4,60	-2,02	80,00	Cóncava
4	1+561,03	1+641,03	-2,02	-6,63	80,00	Convexa
5	1+892,20	1+972,20	-6,63	-1,33	80,00	Cóncava
6	2+729,76	2+809,76	-1,33	4,17	80,00	Cóncava
7	2+969,45	3+049,45	4,17	-6,39	80,00	Convexa
8	3+217,85	3+297,85	-6,39	1,05	80,00	Cóncava
9	3+761,50	3+841,50	1,05	-0,52	80,00	Convexa
10	4+022,00	4+102,00	-0,52	-3,57	80,00	Convexa
11	4+268,52	4+348,52	-3,57	-0,56	80,00	Cóncava
12	4+773,23	4+853,23	-0,56	8,24	80,00	Cóncava

Fuente: Elaboración propia

El detalle del diseño altimétrico se muestra en el ANEXO II DISEÑO GEOMÉTRICO.

3.3.6 Volúmenes de movimiento de tierra

Obtenidos a partir del trazado de la subrasante, nos indica la cantidad de volumen de corte y relleno que tendrá el proyecto.

Estos valores se muestran detallados en el ANEXO II DISEÑO GEOMÉTRICO que corresponde al movimiento de tierra, y que nos ayudan a determinar la curva masa.

Tabla 3.49 Volumen de movimiento de tierra

Volumen total de relleno	25.136,50	m ³
Volumen total de corte	25.650,54	m ³
Sobre acarreo	514,04	m ³

Fuente: Elaboración propia

3.4 Diseño estructural

3.4.1 Datos utilizados para el paquete estructural

Tabla 3.50 Datos para el diseño del paquete estructural

Trafico equivalente	W18	37.492,00	
Serviciabilidad inicial	Po	4.20	
Serviciabilidad final	Pt	2,00	
Diferencia de serviciabilidad	Δ PSI	2.20	-
Desviación estándar	So	0.44	-
Confiability	R	80,00	%
Desviación normal	Zr	-0.841	-
CBR subrasante	CBR	17,00	%
CBR sub base	CBR	30,00	%
CBR base	CBR	80,00	%

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Cálculo del paquete estructural

Módulo resiliente subrasante	Mr=	104,99	(Mpa)	15.227,23 (Psi)
Módulo resiliente sub-base	Mr=	143,49	(Mpa)	20.810,90 (Psi)
Módulo resiliente base	Mr=	246,09	(Mpa)	35.692,22 (Psi)

$$\log W_{18} = Z_R * S_o + 9,36 * \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,4 + \frac{1,094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 * \log M_R - 8,07$$

$$4,573938608 = 4,573938608$$

$$\text{Subrasante} \rightarrow \text{SN} = 1,375647706 \text{ (plg)}$$

$$4,573938608 = 4,573938608$$

$$\text{Subbase} \rightarrow \text{SN2} = 1,197404822 \text{ (plg)}$$

$$4,573938608 = 4,573938608$$

$$\text{Base} \rightarrow \text{SN1} = 0,921271926 \text{ (plg)}$$

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

$$D1 = 2,0938 \text{ (plg)}$$

$$D1^* = 2,1 \text{ (plg)}$$

$$SN_1^* = a_1 * D_1^*$$

$$SN1^* = 0,924 \text{ (plg)}$$

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

$$D2 = 2,135975 \text{ (plg)}$$

$$D2^* = 2,1 \text{ (plg)}$$

$$SN_2^* = a_2 * m_2 * D_2^*$$

$$SN2^* = 0,2688 \text{ (plg)}$$

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

$$D3 = 2,176758 \quad (\text{plg})$$

$$D3^* = 2,2 \quad (\text{plg})$$

$$SN_3^* = a_3 * m_3 * D_3^*$$

$$SN3^* = 0,1848 \quad (\text{plg})$$

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

$$1,378 \geq 1,376 \quad \text{OK}$$

$$D1 = 1,18$$

$$D2 = 3,94$$

$$D3 = 4,19$$

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

$$SN = 1,375647706$$

$$4,573938608 = 4,573938608$$

$$SN = 1,375647706$$

$$W18 = 37.492$$

3.4.3 Resumen del cálculo del diseño estructural

Tabla 3.51 Cálculo del diseño estructural

Capa		(plg)	(cm)	Recomendado	Espesor a usar
Rodadura	D1	1,18	3,00	2,5-7,5	3,00
Base	D2	3,94	10,00	≥ 10	10,00
Subbase	D3	4,19	10,64	> 30 rasante mejorada	12,00

Fuente: Elaboración propia

Con la nueva iteración del cálculo para el diseño estructural se obtuvo una altura de capa de rodadura de 3 cm, por lo que realizando un análisis técnico se tomara en cuenta el poder realizar un tratamiento superficial doble en el diseño para la carretera.

Por lo tanto, se realizará una comparación económica entre realizar una capa de rodadura con pavimento flexible convencional con base granular o un tratamiento superficial doble y de esa manera se elegirá la mejor opción entre ambas.

El detalle del diseño estructural se encuentra en el ANEXO III DISEÑO ESTRUCTURAL.

3.5 Drenaje

3.5.1 Diseño hidráulico de las estructuras de drenaje

El diseño hidráulico de las estructuras de drenaje corresponde determinar la sección transversal, la carga hidráulica y garantizar su funcionamiento.

3.5.1.1 Taludes de corte

Para el talud de relleno, de acuerdo a las recomendaciones para este tipo de material la norma recomienda el talud de relleno la relación 1: 2 con respecto a la horizontal.

Tabla 3.52 Taludes usados en el proyecto

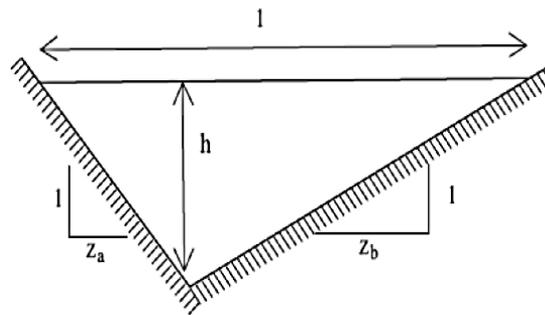
Talud	Pendiente adoptada (H / V)
Corte	1 / 1
Relleno	2 / 1

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.2 Diseño de cunetas

Fue seleccionada una cuneta de sección triangular de dos pendientes.

Figura 3.26 Sección transversal de cuneta



Fuente: Manual ABC

Ecuaciones:

$$(I) \quad Q = \frac{1}{n} ARh^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$(II) \quad V = \frac{1}{n} Rh^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$(III) \quad Rh = \frac{(Za + Zb)y}{2((1 + Za^2)^{0.5} + (1 + Zb^2)^{0.5})}$$

$$(IV) \quad T = (Za + Zb)y$$

Donde:

Q= Caudal

A= Área de la cuneta

R= Radio hidráulico

S= Pendiente

V= Velocidad

Z1(Za), Z2(Zb)= Talud

y= Tirante de agua

T= Espejo de agua

n= Rugosidad (n=0,018 canales revestido de hormigón)

Para la sección adoptada tenemos:

$$Z1 = 1$$

$$Z2 = 2$$

Remplazando los valores de Z1 y Z2 en la ecuación (III) y luego en ecuación (I)

$$Q = \frac{1}{n} (0,4109 * y)^{\frac{2}{3}} * (0,9165 * y^2) * S^{\frac{1}{2}} \quad (V)$$

Remplazando los caudales y las pendientes en la ecuación (V) obtenemos los tirantes “y”

- **Resumen del diseño de cunetas**

Tabla 3.53 Detalle de cunetas lado derecho

Progresiva	Dimensión de cunetas lado derecho							
	Q (m ³ /s)	s (m/m)	Z1	Z2	y (cm)	T (cm)	BL (cm)	H (cm)
Prog. 0+000,00 - 0+196,55	0,005	2,31	1	2	10,00	29,58	10,00	20,00
Prog. 0+196,55 - 0+648,94	0,012	5,13	1	2	12,00	34,87	10,00	22,00
Prog. 0+648,94 - 1+107,40	0,009	4,60	1	2	11,00	32,54	10,00	21,00
Prog. 1+107,40 - 1+525,98	0,005	2,02	1	2	11,00	30,82	10,00	21,00
Prog. 1+525,98 - 1+992,28	0,020	6,63	1	2	14,00	39,22	10,00	24,00
Prog. 1+992,28 - 2+749,06	0,046	1,33	1	2	23,00	67,96	10,00	33,00
Prog. 2+749,06 - 3+001,04	0,034	4,17	1	2	17,00	50,86	10,00	27,00
Prog. 3+001,04 - 3+286,60	0,032	6,39	1	2	16,00	46,17	10,00	26,00
Prog. 3+286,60 - 3+814,92	0,017	1,05	1	2	18,00	51,04	10,00	28,00
Prog. 3+814,92 - 4+008,36	0,013	0,52	1	2	18,00	52,17	10,00	28,00
Prog. 4+008,36 - 4+363,40	0,006	3,57	1	2	10,00	28,84	10,00	20,00
Prog. 4+363,40 - 4+778,33	0,004	0,56	1	2	12,00	33,71	10,00	22,00
Prog. 4+778,33 - 5+054,75	0,004	8,24	1	2	8,00	22,38	10,00	18,00
Dimensiones finales					25,00	70,00	10,00	35,00

Fuente: Elaboración

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

El detalle del diseño de cunetas se muestra en el ANEXO IV DRENAJE.

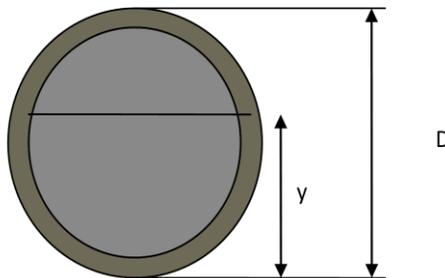
3.5.1.3 Diseño de alcantarillas

Se procede al diseño y dimensionamiento de alcantarillas, con los datos ya obtenidos (caudal y pendientes).

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 caudales máximos tengan un tirante máximo igual a una relación $y/d=0,9$ del diámetro, se realizó los cálculos con el programa H-canales.

Figura 3.27 Tubería parcialmente llena



Fuente: Manual ABC

Ecuaciones para tuberías:

$$A = \frac{D^2}{8} \cdot (\theta_r - \text{sen } \theta)$$

$$P = \frac{D \cdot \theta_r}{2}$$

$$\theta = 2 \cdot \arccos\left(\frac{D - 2 \cdot Y}{D}\right)$$

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

Donde:

Q = Caudal de diseño (m^3/seg)

A = Área (m^2)

P = Perímetro mojado (m)

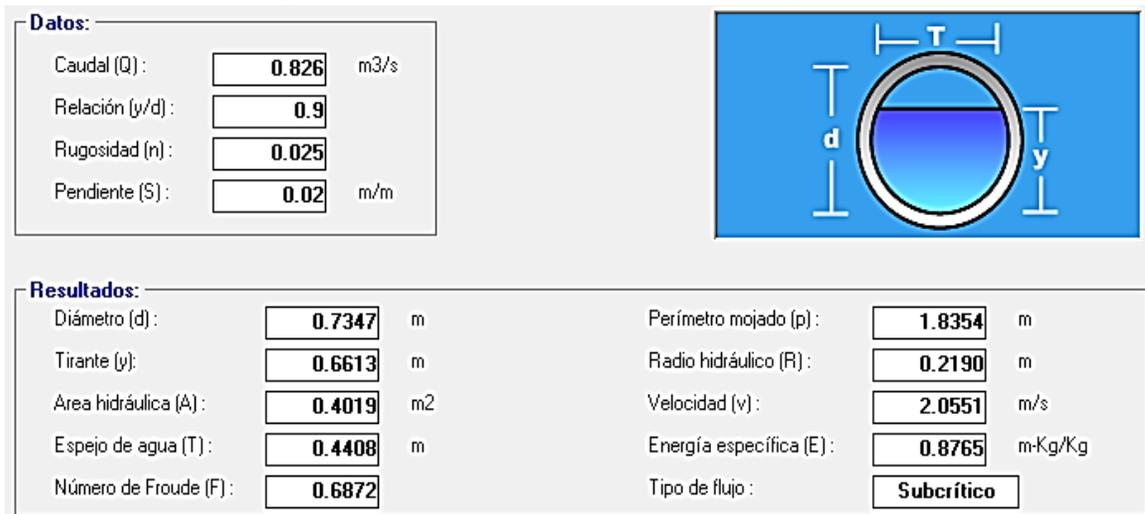
n = Coeficiente de rugosidad

S = Pendiente de la tubería (m/m)

D = Diámetro de la tubería (m)

Cálculo del tirante normal y la velocidad en alcantarillas utilizando el programa H-canales.

Figura 3.28 Cálculo del tirante normal y velocidad



Fuente: Elaboración propia

- **Resumen del diseño de las alcantarillas de paso**

Tabla 3.54 Resumen de alcantarillas de paso

Número	Progresiva	Intensidad	Área	Caudal	Diámetro
	Km+m	mm/h	ha	m ³ /s	m
1	2+343,54	436,19	1,24	0,83	0,80
Por normativa se tomó un diámetro final de					1,00

Fuente: Elaboración propia

- **Resumen del diseño de las alcantarillas de alivio**

Tabla 3.55 Resumen de alcantarillas de alivio

Número	Progresiva	Intensidad	Área	Caudal	Diámetro
	Km+m	mm/h	ha	m ³ /s	m
1	0+196,55	436,19	0,07	0,04	0,30
2	1+107,40	436,19	0,05	0,03	0,30
3	1+992,28	436,19	0,21	0,14	0,40
4	2+749,06	436,19	0,30	0,20	0,40
5	3+286,60	436,19	0,16	0,11	0,40
6	4+363,40	436,19	0,07	0,04	0,30
7	4+778,33	436,19	0,05	0,03	0,30
Por normativa se tomó un diámetro final de					1,00

Fuente: Elaboración propia

El detalle del diseño de alcantarillas se muestra en el ANEXO IV DRENAJE.

3.6 Presupuesto del proyecto

3.6.1 Cómputos métricos

En los cómputos métricos se tiene el nombre del ítem, la unidad en que se efectuará el cómputo, las dimensiones como el largo, ancho y alto, el número de piezas iguales, el volumen parcial, y el volumen final de cada ítem de todos los módulos que comprende el proyecto.

El detalle de los cómputos métricos se encuentra en el ANEXO V PRESUPUESTO DEL PROYECTO.

3.6.2 Análisis de precios unitarios

El detalle de los precios unitarios se encuentra en el ANEXO V PRESUPUESTO DEL PROYECTO.

3.6.3 Presupuesto general

- Alternativa 1 Pavimento flexible convencional

Tabla 3.56 Presupuesto general – Alternativa 1

MO1 : Obras preliminares					
N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
1	Instalación de faenas	glb	1,00	104.780,68	104.780,68
2	Replanteo y control topográfico	km	5,05	2.511,28	12.681,95
3	Limpieza desbroce y destronque	ha	5,05	4.355,66	21.996,08
4	Prov. y coloc. letrero de obras	pza	2,00	2.336,19	4.672,39
MO2 : Movimiento de tierras					
N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
5	Excavación de tierra común	m³	25.650,54	28,36	727.426,43
6	Sobreacarreo	m³	514,04	2,83	1.453,02
7	Conformación de terraplén	m³	25.136,50	26,81	674.008,56

MO3 : Conformado del paquete estructural					
N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
8	Transporte, provisión y conformación de capa sub base	m³	3.032,85	135,95	412.306,80
9	Transporte, provisión y conformación de capa base	m³	2.527,38	91,39	230.976,58
10	Imprimación bituminosa	m²	30.328,50	16,13	489.172,95
11	Tratamiento superficial doble	m²	5.054,75	25,62	129.488,26
12	Carpeta asfáltica	m²	25.273,75	118,23	2.988.171,48
MO4 : Obras de arte menor					
N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
13	Replanteo y control de obras de arte menor	pza	8,00	204,51	1.636,07
14	Excavación no clasificada C/Maq P/Obras de arte	m³	84,30	31,21	2.630,95
15	Excavación Manual P/Cunetas revestidas	m³	1.022,63	81,67	83.518,11
16	Piso de Cemento + empedrado P/Alcantarillas	m³	9,60	145,62	1.397,99
17	Coloc. capa base arena seleccionada	m³	7,20	157,61	1.134,82
18	Hormigón Ciclópeo 50% PD para estructuras	m³	74,76	1.011,43	75.614,20
19	Prov. y coloc. de Chapa ARMCO D= 1,00 M	ml	48,00	2.241,55	107.594,50

20	Relleno compactado manual	m ³	26,70	61,19	1.633,67
21	Cuneta revestida de mampostería de piedra	ml	4.174,00	149,32	623.267,19
MO5 : Señalización					
N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
22	Prov. y coloc. señalización preventiva cuadrangular 0.60x0.60 m	pza	58,00	1.311,56	76.070,65
23	Prov. y coloc. señalización restrictiva rectangular 0.60x0.90 m	pza	8,00	1.581,62	12.652,98
24	Pintado de calzada línea segmentada amarilla E=0.12 m	ml	2.698,58	6,37	17.178,70
25	Pintado de calzada línea continua amarilla E=0.12 m	ml	2.354,67	9,10	21.421,88
26	Pintado de calzada línea continua blanca E=0.15 m	ml	10.109,50	10,57	106.852,68
MO6 : Entrega de obra					
N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
27	Limpieza general de la obra	glb	1,00	5.033,85	5.033,85
28	Prov. y coloc. placa de entrega de obras	pza	1,00	603,62	603,62
Presupuesto total Bs.					6.935.377,06

Fuente: Elaboración propia

- **Alternativa 2 Tratamiento superficial doble**

Tabla 3.57 Presupuesto general – Alternativa 2

MO1 : Obras preliminares					
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
1	Instalación de faenas	glb	1,00	104.780,68	104.780,68
2	Replanteo y control topográfico	km	5,05	2.511,28	12.681,95
3	Limpieza desbroce y destronque	ha	5,05	4.355,66	21.996,08
4	Prov. y coloc. letrero de obras	pza	2,00	2.336,19	4.672,39
MO2 : Movimiento de tierras					
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
5	Excavación de tierra común	m³	25.650,54	28,36	727.426,43
6	Sobrecarreo	m³	514,04	2,83	1.453,02
7	Conformación de terraplén	m³	25.136,50	26,81	674.008,56
MO3 : Conformado del paquete estructural					
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
8	Transporte, provisión y conformación de capa sub base	m³	3.032,85	135,95	412.306,80

9	Transporte, provisión y conformación de capa base	m³	2.527,38	91,39	230.976,58
10	Imprimación bituminosa	m²	30.328,50	16,13	489.172,95
11	Tratamiento superficial doble	m²	30.328,50	25,62	776.929,57
MO4 : Obras de arte menor					
N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
12	Replanteo y control de obras de arte menor	pza	8,00	204,51	1.636,07
13	Excavación no clasificada C/Maq P/Obras de arte	m³	84,30	31,21	2.630,95
14	Excavación Manual P/Cunetas revestidas	m³	1.022,63	81,67	83.518,11
15	Piso de Cemento + empedrado P/Alcantarillas	m³	9,60	145,62	1.397,99
16	Coloc. capa base arena seleccionada	m³	7,20	157,61	1.134,82
17	Hormigón Ciclópeo 50% PD para estructuras	m³	74,76	1.011,43	75.614,20
18	Prov. y coloc. de Chapa ARMCO D= 1,00 M	ml	48,00	2.241,55	107.594,50
19	Relleno compactado manual	m³	26,70	61,19	1.633,67
20	Cuneta revestida de mampostería de piedra	ml	4.174,00	149,32	623.267,19

MO5 : Señalización					
N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
21	Prov. y coloc. señalización preventiva cuadrangular 0.60x0.60 m	pza	58,00	1.311,56	76.070,65
22	Prov. y coloc. señalización restrictiva rectangular 0.60x0.90 m	pza	8,00	1.581,62	12.652,98
23	Pintado de calzada línea segmentada amarilla E=0.12 m	ml	2.698,58	6,37	17.178,70
24	Pintado de calzada línea continua amarilla E=0.12 m	ml	2.354,67	9,10	21.421,88
25	Pintado de calzada línea continua blanca E=0.15 m	ml	10.109,50	10,57	106.852,68
MO6 : Entrega de obra					
N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
26	Limpieza general de la obra	glb	1,00	5.033,85	5.033,85
27	Prov. y coloc. placa de entrega de obras	pza	1,00	603,62	603,62
Presupuesto total Bs.					4.594.646,89

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber realizado un análisis técnico y económico de las 2 alternativas del proyecto se llegó a la conclusión que se realizará un tratamiento superficial doble en la carretera, debido a que el espesor de la capa de rodadura es mínimo y el costo es menor a la alternativa 1

El detalle del presupuesto general se encuentra en el ANEXO V PRESUPUESTO DEL PROYECTO.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se cumplió con el objetivo principal el de realizar el diseño de ingeniería mejoramiento del camino San Nicolas - Río Bermejo hasta la progresiva 5+000 del municipio de Caraparí, en base a las normas y parámetros vigentes en nuestro país (Administradora Boliviana de Carreteras).
- Los datos del levantamiento topográfico de la zona, se obtuvo satisfactoriamente, así pudiendo obtener una poligonal abierta con una longitud de 5.054,75 m aproximadamente, además en base a los datos de las estaciones pluviométricas, se elaboró el estudio hidrológico para determinar intensidades máximas y así poder calcular caudales de diseño. Con respecto al Estudio Geotécnico, se llega a la conclusión que existe diversos tipos de suelo, según la norma SUCS se clasificó en: GW (grava bien graduada), GP (grava mal graduada con arena), GM (grava limosa, mezcla de grava, arena y limo), SW (arenas gravosas bien graduada con poco material fino) y SM (arena limosa); obteniendo entre todos el menor valor de CBR de 17% para el diseño del paquete estructural y por último para el estudio de tráfico vehicular realizado se determinó el número de ESALs de $W18 = 37.492$.
- El diseño geométrico del tramo San Nicolas-Río Bermejo se lo efectuó tomando en cuenta la normativa vigente del manual de la ABC de donde se obtuvieron todos los parámetros básicos para diseñar los elementos de la carretera, tanto verticales como horizontales y sección transversal; para el diseño del paquete estructural se utilizó el método AASTHO – 93 donde se llegó a las conclusión que se realizará un TSD con los siguientes espesores: Capa de rodadura 3 cm, una base granular de 10 cm, y una sub base granular de 12 cm y con respecto al diseño hidráulico se diseñó alcantarillas de material Armco que tendrán 1 m de diámetro y estas permitirán la evacuación de los caudales obtenidos mediante el estudio hidrológico, además se procedió a realizar el diseño de cunetas que evacuarán toda el agua proveniente de las precipitaciones que caen sobre la calzada, las cuales tendrán una sección triangular con dimensiones (T=70 cm y Y=25 cm).
- Se determinó las cantidades de material de corte y relleno satisfactoriamente con ayuda del software AutoCAD Civil 3d 2019 obteniendo como resultados: 25.650,54 m³ como

material de corte, 25.136,50 m³ como material de relleno y 514,04 m³ de material para sobre acarreo.

- Según los datos de horarios de equipos, materiales y mano de obra, se obtuvo un presupuesto total del proyecto tomando en cuenta todas las actividades necesarias para el mismo, se optó por la alternativa 2 – Tratamiento superficial doble.

Tabla 4.1 Presupuesto total del proyecto

MO1: Obas preliminares	144.131,10
MO2: Movimiento de tierras	1.402.888,01
MO3: Conformado del paquete estructural	1.909.385,90
MO4: Obras de arte menor	898.427,52
MO5: Señalización	234.176,89
MO6: Entrega de obra	5.637,47
Presupuesto total Bs.	4.594.646,89

Fuente: Elaboración propia

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda buscar la información bibliográfica necesaria antes de efectuar el diseño de cualquier proyecto para así evitar inconvenientes al momento de la realización del mismo.
- Al momento de efectuar un estudio de tráfico, se debe ubicar un punto estratégico para realizar el aforo de vehículos que representen el tráfico actual para no cometer errores ni calcular una proyección de vehículos incorrecta.
- El mayor problema que experimentan las carreteras es a causa del agua, es por eso que al momento de realizar el diseño de obras de arte menor o mayor no se debe escatimar costos en la construcción de estas obras; además el mantenimiento de estas es fundamental ya que si no se lo efectúa su funcionamiento no será el adecuado, ocasionando problemas en el paquete estructural.

- Las alcantarillas deberán cumplir todos los aspectos señalados por la normativa vigente en el punto de detalles de la misma en especial con la pendiente, para así permitir el correcto y libre flujo del agua, para que de esa manera se evite el taponamiento en las alcantarillas causadas por el arrastre de material.
- La circulación vehicular y peatonal en una carretera o camino debe ser guiada y regulada a fin de que pueda llevarse a cabo en forma segura, fluida, ordenada y cómoda, siendo la señalización de tránsito un elemento fundamental en un diseño de un camino para alcanzar tales objetivos, ya que estas indican a peatones y conductores la forma correcta y segura de transitar por la vía.
- Para la aplicación de paquetes que nos ayuden en los cálculos o dimensionamientos es necesario aprender a interpretar los resultados que estos nos dan, para poder corregirlos manualmente si es necesario y no cometer errores por la mala interpretación de los resultados.

Bibliografía

- Administradora Boliviana de Carreteras (2005). Manual de Carreteras Volumen I: Manual de Diseño Geométrico. Bolivia: Administradora Boliviana de Carreteras.
- Administradora Boliviana de Carreteras (2005). Manual de Carreteras Volumen II: Manual de Hidrología y Drenaje. Bolivia: Administradora Boliviana de Carreteras.
- Administradora Boliviana de Carreteras (2005). Manual de Carreteras Volumen III: Manual de Dispositivos de control de tránsito. Bolivia: Administradora Boliviana de Carreteras.
- Administradora Boliviana de Carreteras (2005). Manual de Carreteras Volumen IV: Manual de Ensayos de suelos y materiales de suelos. Bolivia: Administradora Boliviana de Carreteras.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (1993). Guia AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation
- Máximo Villon Bejar (1995) – Hidráulica de Canales – Lima Perú – Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Máximo Villon Bejar (2002) – Hidrología – Lima Perú – Editorial Villon.
- Diseño de pavimentos (AASHTO-93) del IBCH
- Braja M. Das (1985) – Fundamento de Ingeniería Geotécnica – California State University, Sacramento – Editorial: Thomson Learning.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología)