

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se menciona la palabra mejoramiento de un camino decimos que es el proceso mediante el cual se mejora el estándar de un camino existente o se altera para permitir una mayor capacidad y un recorrido más seguro por parte de un mayor volumen de tránsito.

En la actualidad la provincia Cercado a través de la sub alcaldía realiza mantenimiento del camino según cronograma y a solicitud de autoridades comunales.

En la zona de San Jacinto no existe un diseño de mejoramiento final de diseño de camino por que en estos últimos años los caminos fueron mejorados a través de mantenimientos programados.

El presente trabajo es realizar el trabajo de diseño de ingeniería mejoramiento de camino entre las comunidades San Jacinto - Tolomosa Grande, utilizando la norma ABC ya que la zona cuenta con alto índice de transitabilidad por ser una zona turística y así garantizar seguridad en toda época del año.

El trabajo que se presenta estará exquisito con información clara para su comprensión del mismo, y en función a las características del lugar, se contará con un diseño geométrico y estructural ya sea de pavimento flexible, pavimento rígido, y un tratamiento de enripiado; siempre en función al presupuesto y a las normas vigentes del país, se explicará sobre métodos para la construcción del mismo y las especificaciones necesarias para cumplir lo requerido.

Teniendo el trabajo terminado se brindará a las autoridades y comunario de San Jacinto y Tolomosa para que, si en algún momento se llegase a ejecutar la construcción vial, utilizarían mi aporte, por lo tanto, el beneficio social seria impactante.

1.2. Justificación del proyecto

1.2.1. Diagnóstico de camino

El proyecto tiene un inicio en las cabañas de la presa de San Jacinto y un final en la comunidad de Tolomosa Grande en el rio Mena, con una longitud de 6.3km.

Las poblaciones de San Jacinto y Tolomosa Grande no cuentan con un adecuado camino, ya que solamente existe un camino que los conecta a ambas poblaciones, siendo este no garantiza buena transitabilidad en época de lluvias.

En el recorrido por el camino se observa que existe un ancho de calzada de 4m en la parte de las cabañas de San Jacinto y esta situación pone en peligro a los peatones porque el mismo no cuenta con aceras.

Los taludes de la zona de San Jacinto son estables porque el mismo tiene una inclinación de 1V: 2.50H y es de material roca, por tal motivo garantiza seguridad tanto para los peatones y la transitabilidad por la zona.

Los taludes en la zona de Tolomosa Grande tienen una inclinación de 1V:2H el material un suelo granular con presencia de arena gruesa.

El tramo San Jacinto - Tolomosa Grande tiene obras de arte improvisadas en gran parte del tramo.

En la zona de San Jacinto no cuenta con cunetas ya que la zona es obstruida por restaurantes de construcción precarias.

En la progresiva 2+500 en adelante, cuenta con cunetas con revestimiento natural.

Por tales motivos mencionados anteriormente este proyecto de DISEÑO DE INGENIERIA MEJORAMIENTO DE CAMINO TRAMO SAN JACINTO – TOLOMOSA GRANDE beneficiará a las comunidades y al municipio de Cercado, las cuales tendrán la oportunidad de mejorar su calidad de vida ya que podrán utilizar esta carretera (cuando se construya) para sacar y vender sus productos agrícolas a la ciudad o en otras poblaciones.

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

En el presente estudio se realizará la aplicación de métodos de diseño de carreteras; para mejorar la transitabilidad y calidad de servicio del tramo San Jacinto – Tolomosa Grande para brindar un mejoramiento académico con la realización del mismo.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

El tramo San Jacinto – Tolomosa Grande, tiene aproximadamente 6.3 km. de longitud, El tramo cuenta con un tratamiento simple realizado por las autoridades correspondientes no contempla un diseño de pavimento, en toda parte del recorrido del camino se percibe un terreno ondulado fuerte, el clima en esa zona es húmeda y de alta concurrencia de lluvia, el cual con un diseño óptimo en su mejoramiento solucionaríamos toda falla existente.

El camino presenta varios desniveles y deterioros en su rasante, no cumple con el ancho de calzada, el camino es de tráfico mediano. Es necesario hacer alternativas de diseño para su mejoramiento, llegando a obtener una carretera que sea la mejor alternativa tanto técnica como económica.

1.3.2. Problema

¿Es posible solucionar la problemática que con lleva la población de las comunidades que serán beneficiadas por el proyecto de diseño de ingeniería mejoramiento de camino tramo San Jacinto – Tolomosa Grande?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar la carretera entre las comunidades San Jacinto y Tolomosa Grande, utilizando normas ABC ya que la zona cuenta con alto índice de transitabilidad por ser una zona turística y así garantizar su eficiente transitabilidad y seguridad en toda época del año.

1.4.2. Objetivo específico

- Realizar el levantamiento topográfico el cual nos permitirá, obtener las curvas de nivel del terreno.
- Elaborar el estudio de suelos para determinar las características de dicho suelo.
- Realizar un estudio hidrológico que nos permitirá dimensionar las distintas obras de arte menor, que serán necesarias para el diseño del tramo.

- Realizar el diseño geométrico, aplicando la norma ABC, y el paquete informático civil 3D 2017.
- Realizar el diseño estructural, comprendido por el paquete estructural.
- Diseñar de las obras de arte menor como ser alcantarillas y cunetas de acuerdo al estudio hidrológico.
- Elaborar cálculos métricos, precios unitarios para poder obtener el presupuesto del proyecto.

1.5. Contenido preliminar

1.5.1. Ubicación del proyecto

El camino del proyecto se encuentra en la zona sud de la ciudad de Tarija

Este camino se inicia en las cabañas de la represa de San Jacinto la cual se desarrolla hasta la comunidad de Tolomosa Grande (Rio Mena)

Municipio: Tarija

Provincia: Cercado

Departamento: Tarija

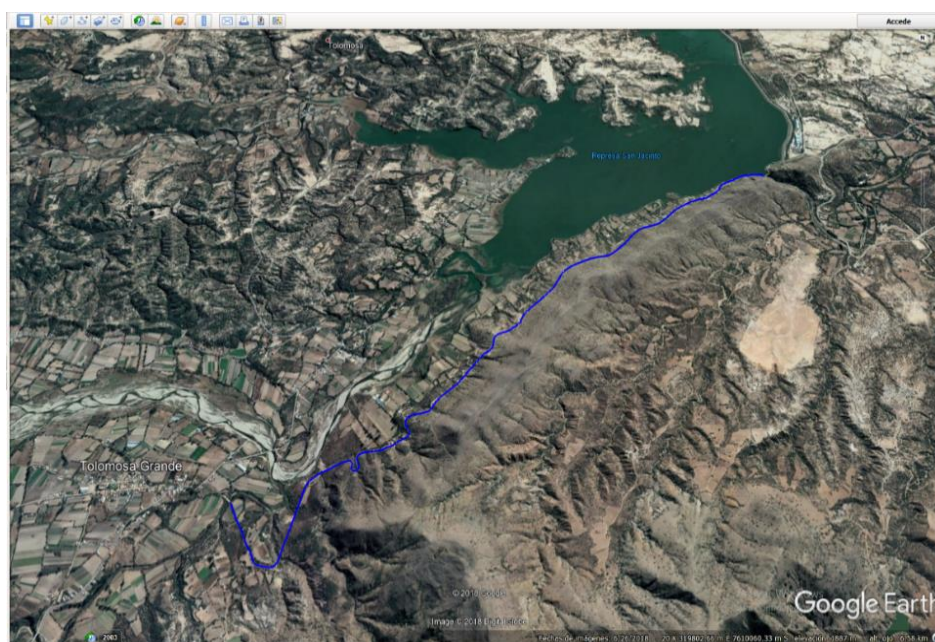
Longitud del tramo: 6.3 km

Figura 1: Localización del proyecto, ámbito nacional



Fuente: Google y elaboracion propia

Figura 2: Localización del proyecto vía satelital



Fuente: Google earth

Las coordenadas geográficas del inicio y fin del tramo son:

Tramo	Este	Norte	Altitud
Inicio	321180.78	7610256.30	1921
Final	317065	7607172	1956.18

1.5.2. Estudios preliminares

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

Topografía.-El levantamiento topográfico se lo realizó formando una poligonal en base a una red geodésica implantada su nivelación y posterior procesamiento de datos en gabinete.

Geotecnia.- Las muestras recolectadas han sido enviadas al laboratorio para la ejecución de los correspondientes ensayos físico-mecánicos es decir granulometrías, límites de Atterberg, compactación y CBR. Utilizando el método AASTHO para la clasificación de los suelos.

Hidrología.- Para el análisis y cálculo de las lluvias máximas diarias, para diferentes periodos de retorno, se sigue la siguiente metodología.

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

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

Para el cálculo de caudales máximos se manejan el método racional.

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

1.5.3. Diseño de ingeniería

Diseño geométrico.- El trazo geométrico se logró adoptando las normativas vigentes de la Administradora Boliviana de Carreteras ABC. Se lo realizó utilizando el programa de computación AUTOCAD CIVIL3D.

Diseño del paquete estructural.- El diseño del pavimento se lo realizó adoptando la norma americana AASHTO. Donde se plantean pavimento flexible. Además, se diseñan los espesores de la capa sub base, capas base y capa de rodadura.

Para el cálculo de espesores de pavimento flexible se utiliza el software Aashto T-93.

Diseño de estructuras obra de arte menor.- El diseño de las obras de arte menor se las realiza tomando en cuenta la norma ABC (Administradora Boliviana de Carreteras); se diseñarán alcantarillas, según requiera el diseño.

Señalización y seguridad vial.- La señalización es diseñada tomando en cuenta la normativa vigente ABC.

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

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

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

Planos. - Los planos que se adjunta del presente proyecto son los siguientes:

Plano de ubicación

Plano de ubicación de BMs

Plano de bimodales

Plano se sección transversal

Plano de movimiento de tierras

Plano de alcantarillas

1.5.4. Alcance del estudio

El alcance del proyecto de “DISEÑO DE INGENIERÍA MEJORAMIENTO DE CAMINO TRAMO SAN JACINTO – TOLOMOSA GRANDE” abarca lo siguiente:

Se da información de una forma teórica de la ubicación, importancia, y descripción general del proyecto.

Se realiza el aforo de vehículos para determinar el, TPD Y TPDA (estudio de tráfico).

Se muestran los métodos de diseño de carreteras.

Se analizan los criterios de diseño para el proyecto en cuestión.

Se realiza una descripción específica del proyecto en estudio.

Se muestra un planteamiento de solución acorde a las exigencias y normas del manual de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

Se utiliza el programa como el AUTOCAD CIVIL3D, para realizar los diseños.

Se realiza la estabilidad de taludes utilizando el programa SLIDE se determinará el FS (Factor de Seguridad)

Se realizará el análisis correspondiente de presupuesto del proyecto

De todo el estudio realizado se obtienen conclusiones finales y se darán las recomendaciones respectivas de acuerdo a los objetivos planteados.

2. DISEÑO DE INGENIERÍA

2.1. Estudios previos

Para realizar el diseño geométrico es necesario realizar estudios previos para poder determinar los parámetros de diseños y así cumplir con los objetivos del proyecto.

Los estudios previos que se realiza son los siguientes:

Estudio topográfico

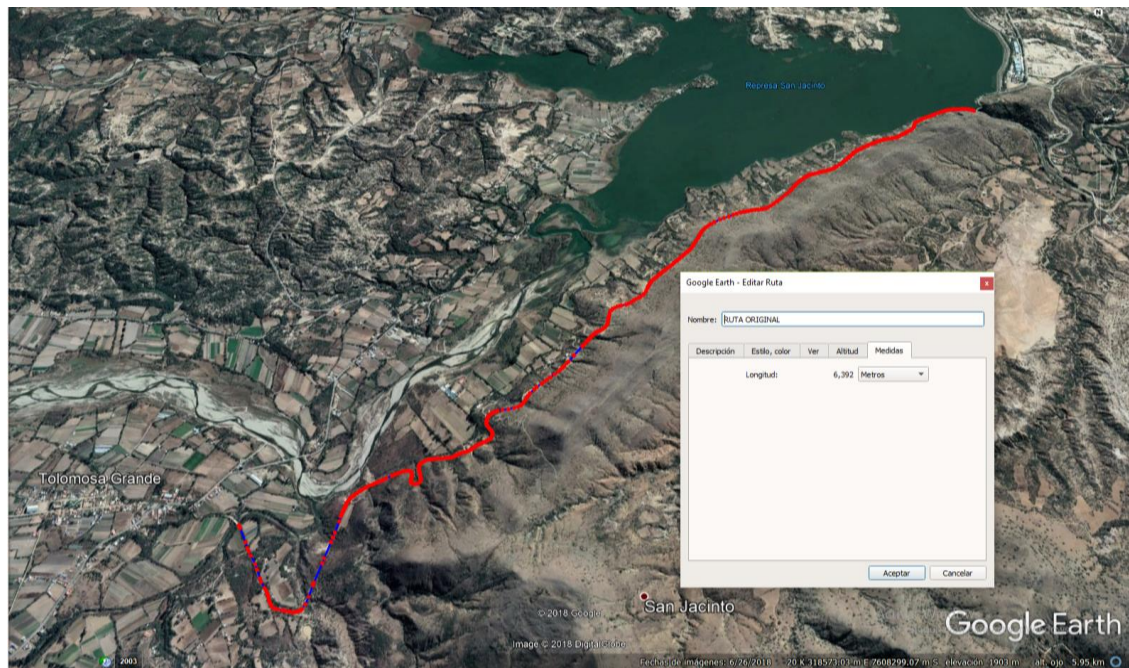
Estudio hidrológico

Estudio geotécnico

Estudio de tráfico

Cabe recordar que el camino ya tiene una capa de tratamiento superficial simple por tal motivo los estudios que se realizará será por el tramo ya proyectado o existente.

Figura 3: Trayecto del camino



Fuente: Elaboración propia de Google Earth

2.1.1. Estudio topográfico

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

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

Paso 1. Estacado del eje. Dada la facilidad de uso del software de diseño vial que permiten obtener las coordenadas correspondientes al estacado del eje del trazo, es más recomendable realizar el estacado del eje por radiación a partir de los puntos de la poligonal, utilizando la función de replanteo de la estación total, luego de transferir la relación de coordenadas de la computadora a la estación total.

Paso 2. Levantamiento de secciones transversales. Las secciones deberán levantarse en una longitud suficiente para poder definir exactamente los volúmenes de tierra a mover, tanto en corte como en relleno, siendo recomendable que se extienda por lo menos 10,00 metros más allá del borde del talud en cortes y en pie del talud de relleno. Se levantarán las secciones transversales después de señalar la línea perpendicular al eje en cada estaca. Se tendrá especial cuidado para levantar secciones en posiciones intermedias cuando existan variaciones de relieve del terreno importantes que no hayan sido tomadas por el seccionamiento efectuado sobre el estacado. Así mismo, en lugares rocosos con fuerte pendiente transversal, se extremará el cuidado en la toma de las secciones transversales ya que errores de metros, especialmente en roca que son de alto costo de construcción, pueden originar costos adicionales en obra.

Paso 3. Los levantamientos topográficos necesarios para el diseño de obras de arte o estructuras especiales, pueden ser ejecutados por la radiación a partir de la poligonal de apoyo o puntos auxiliares establecidos para el efecto. Es también importante dejar un BM en cada zona donde se proyectará alguna obra de arte.

En nuestro diseño se tomó de referencia para la ubicación de BMs a diferentes elementos como ser: casas, postes de luz, puentes, letreros, etc.

Imagen 1: Ubicación de BM 10



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2: Ubicación de BM 26



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 1: BMs

BMs	Este	Norte	Altitud
BM1 (inicio)	7610253.37	321180.492	1921.75
BM2	7610248.82	321112.258	1921.73
BM3	7610221.76	321022.73	1921.83
BM4	7610196.13	320983.912	1921.88
BM5	7610159.84	320911.287	1923.37
BM6	7610186.2	320945.368	1921.00
BM7	7610143.33	320861.862	1927.21
BM8	7609924.88	320620.208	1947.00
BM9	7609935.21	320693.454	1951.65
BM10	7609686.06	320285.937	1929.00
BM11	7609588.44	320093.399	1940.00
BM12	7609321.49	319808.457	1956.49
BM13	7609423.07	319894.001	1952.00
BM14	7609235.09	319664.527	1969.00
BM15	7609062.4	319352.195	1975.00
BM16	7608807.87	319168.168	1969.40
BM17	7608720.79	319085.683	1970.00
BM18	7607990.27	318461.806	1953.00
BM19	7607171.61	317064.535	1943.45
BM20	7606860.46	317437.768	1943.87
BM21	7606728.85	317406.47	1958.61
BM22	7606981.97	317174.524	1946.05
BM23	7607914.69	318356.908	1954.63
BM24	7607532.19	318034.592	1946.00
BM25	7607765.37	318186.139	1921.75
BM26	7608076.98	318533.851	1921.73
BM27	7608304.13	318731.228	1921.83
BM28	7608508.12	318926.762	1921.88
BM29	7608586.87	318985.094	1923.37

BM30	7608170.49	318620.52	1921.00
BM31	7607328.77	317564.913	1958.12
BM32	7607469.12	317793.456	1948.82
BM33	7610253.37	321180.492	1962.05
BM34	7610248.82	321112.258	1978.00
BM35	7610221.76	321022.73	1970.82
BM36	7610196.13	320983.912	1957.00
BM37	7610159.84	320911.287	1946.80
BM38 (Final)	7610186.2	320945.368	1939.20

Fuente: elaboración propia

La topografía en general de todo el camino se encuentra detallada en ANEXOS.

2.1.2. Estudio geotécnico

La investigación geotécnica para la determinación de los diferentes materiales que constituyen los suelos, tanto de la subrasante natural como de los yacimientos, se realizó de manera tal, que puedan obtenerse los mínimos requerimientos de información técnica. Para este cometido se prestó especial atención a la caracterización, distribución, y clasificación de suelos.

2.1.2.1. Estudio de suelos

Metodología de trabajo

La metodología adoptada en este estudio y que culmina con la elaboración del presente informe final, fue convencionalmente dividida en las siguientes etapas:

Trabajo de campo

Trabajo de laboratorio

Trabajo de gabinete

Trabajo de campo

Esta fase de trabajo consistió en la apertura o excavación manual de calicatas en la subrasante y en los yacimientos.

Estas calicatas fueran ubicadas guardando una equidistancia de quinientos metros (500m), y tienen como finalidad no solamente conocer la distribución en profundidad de los diferentes materiales determinados en cada punto de sondeo, sino también establecer las condiciones de humedad, consistencia y compacidad de los suelos investigados y el conocimiento de la disposición estructural de la subrasante estudiada.

La excavación para la obtención de material fue de 50cm a 80cm en diferentes zonas, siendo estas en los primeros tramos de 0+000 a 2+000 de 50cm por el motivo que ya existen viviendas en el camino (vivienda con negocio) y los propietarios no dejan extraer muestra de la zona.

Imagen 3: Extracción de muestra 1+000



Fuente elaboración propia

Imagen 4: Extracción de muestra 0+500



Fuente elaboración propia

Trabajos de laboratorio

Las muestras obtenidas fueron analizadas en el laboratorio especializado de mecánica de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho

Este trabajo está orientado a conocer la distribución granulométrica de las partículas sólidas que constituyen los suelos investigados, proporcionando un nivel de referencia que, conjuntamente con los otros trabajos de laboratorio, permitieron conocer las características, las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante.

Los laboratorios a realizar que se realiza son los siguientes:

Determinación Porcentaje de humedad.

Granulométrica de los materiales constitutivos del suelo, mediante la vía del tamizado

Límite líquido

Límite plástico

Índice de plasticidad

Compactación

CBR

Clasificación de los suelos

Imagen 5: Lavado de muestra



Fuente Elaboración propia

Imagen 6: Ensayo de granulometría



Fuente Elaboración propia

Imagen 7: Ensayo de límite líquido



Fuente Elaboración propia

Imagen 8: Ensayo de compactación



Fuente Elaboración propia

Trabajo de gabinete

Con el objeto de sistematizar el estudio en la forma gráfica, se realizó la correspondiente interpretación geológica y geotécnica, la descripción litológica de los pozos exploratorios, la confección de los planos y perfiles, que finalmente nos permiten establecer, las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

2.1.2.1.1. Clasificación y descripción de los suelos obtenidos

Los suelos identificados y que constituyen el perfil natural de la subrasante son resumidos en cinco grandes grupos que presentan combinaciones variables en proporción, textura y propiedades plásticas, permitiendo a su vez distinguir subgrupos menores, los cuales son descritos a continuación:

Suelos granulares (gravas y arenas)

A-1-a (0) gravas y arenas

A-1-b Gravas y arenas limosas y arcillosas

Suelos granulares

Estos suelos de naturaleza granular, están representadas por:

Gravas y arenas, A-1-a (0).- Estos suelos están formados por mezclas generalmente bien graduadas de fragmentos o clastos de rocas, gravas y arenas en una matriz más fina, con o sin material ligante.

Su comportamiento como material de subrasante es variable desde bueno a muy bueno, de la misma manera su utilización como material para capa base y subbase o en la construcción de terraplenes en general, es muy aceptable desde bueno a muy bueno.

No registran variaciones o cambios de volumen muy acentuados y su permeabilidad es variable de regular a bueno.

Generalmente los asentamientos (si es que se producen), son muy pequeños, especialmente cuando su grado de compacidad es alto.

Gravas y arenas limo arcillosas A-1-b (0).- Es bien graduado, predomina las arenas gruesas casi no tiene ligante.

Cuadro 2: Ensayo de laboratorios de suelos

Origen			Granulometría			Límites de Atterberg			Clasificación	Proctor		CBR
Nro. de Muestra	Prog. (m)	Prof. (m)	N°10	N°40	N°200	LL	LP	IP	AASHTO	$\rho_{\text{máx}}$ gr/cm ³	CHO %	95%
1	0+000	0,50	17.68	11.95	9.15	0	0	N.P.	A-1-a(0)	2.1	5.61	29
2	0+500	0,50	18	12.31	9.52	0	0	N.P.	A-1-a(0)	2.24	2.84	35
3	1+000	0,50	18.04	12.4	9.58	0	0	N.P.	A-1-a(0)	2.24	2.84	35
4	1+500	0,50	68.06	44.98	24.2	28.91	18.43	10	A-1-b(0)	2.19	2.23	32
5	2+000	0,50	68.36	45.28	24.5	28.72	16.49	12.24	A-1-b(0)	2.88	2.9	29
6	2+500	0,50	67.04	43.94	23.24	30.62	17.78	12.84	A-1-b(0)	2.19	2.23	32
7	3+000	0,50	68.02	44.92	24.12	30.39	18.31	12.08	A-1-b(0)	2.24	2.84	35
8	3+500	0,50	68.82	45.72	24.92	29.85	17.88	11.97	A-1-b(0)	2.24	2.84	35
9	4+000	0,50	72.04	47.84	24.84	30.09	17.35	12.74	A-1-b(0)	2.19	2.23	29
10	4+500	0,50	72.76	49.89	29.08	30.08	20.98	9.1	A-1-b(0)	2.19	2.23	32
11	5+000	0,50	67.36	44.58	23.68	29.8	21.14	8.75	A-1-b(0)	2.19	2.23	32
12	6+114	0,50	70.8	47.86	24.9	32.68	22.83	9.85	A-1-b(0)	2.19	2.23	32

CBR media = 32.00

2.1.3. Estudio hidrológico

El objetivo del estudio hidrológico es determinar el caudal que debe evacuar cada elemento del desagüe superficial ya sea longitudinal o transversal, el caudal se debe determinar para cada una de las cuencas que cruzan el eje de la vía.

La determinación puede partir de datos de precipitaciones como es el caso en pequeñas cuencas

Cuadro 3: Estación de San Jacinto

Nro.	Año	San Jacinto
1	1975	-
2	1976	338
3	1977	511.4
4	1978	654.7
5	1979	569.9
6	1980	598.9
7	1981	686.8
8	1982	623.2
9	1983	332.8
10	1984	690
11	1985	707.4
12	1986	-
13	1987	602.7
14	1988	570.8
15	1989	536.7
16	1990	653.3
17	1991	604.2
18	1992	487
19	1993	562.2
20	1994	449.6
21	1995	637.6
22	1996	376
23	1997	519.4
24	1998	529.6
25	1999	786.2
26	2000	854.3

27	2001	645.9
28	2002	591.3
29	2003	654.7
30	2004	654.1
31	2005	714.9
32	2006	793.6
33	2007	592.4
34	2008	367
35	2009	652.5
36	2010	670.4
37	2011	426.2

Fuente: SENHAMI

Análisis de consistencia. - Es el análisis de precipitaciones para determinar si una estación pluviométrica es consistente o inconsistente, las estaciones que se consideren deben ser representativas y la serie de datos debe ser suficientemente largos para permitir un ajuste estadístico, este análisis se hace mediante una representación gráfica llamada curva doble másica.

Periodo de Retorno.- Se denomina así al intervalo de tiempo promedio dentro de la cual un evento de magnitud “X” puede ser igualado o superado al menos una vez en promedio.

Tabla 1: Periodo de retorno

Tipo de Obra	Tipo de Ruta	Periodo de retorno (T años)		Vida útil supuesta (n años)	Riego de falla (%)	
		Diseño (3)	Verificación (4)		Diseño	Verificación
Puentes y viaductos (1)	Carretera	200	300	50	22	15
	Camino	100	150	50	40	28
Alcantarillas ($S > 1,75 \text{ m}^2$) o $H_{\text{terrap}} \geq 10 \text{ m}$ y estructuras enterradas (2)	Carretera	100	150	50	40	28
	Camino	50	100	30	45	26
Alcantarillas ($S < 1,75 \text{ m}^2$)	Carretera	50	100	50	64	40

	Camino	25	50	30	71	45
Drenaje de la plataforma	Carretera	10	25	10	65	34
	Camino	5	10	5	67	41
Defensas de riberas	Carretera	100	-	20	18	-
	Camino	100	-	20	18	-

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.1.3.1. Test de consistencia de datos Kolmogorov-Smirnov

Se considera la desviación de la función de distribución de probabilidades de la muestra $P(x)$ de la función de probabilidades, escogida $Po(x)$:

$$\Delta_{\max} \leq \Delta_o$$

$$\Delta_{\max} = \max(P(x) - Po(x))$$

Si el valor calculado Δ_{\max} es mayor que el Δ_o , el modelo matemático de distribución probabilística de Gumbell escogido se debe rechazar.

Modo de distribución probabilístico de Gumbell

Es uno de los modelos más usados en hidrología (eventos extremos), su función para la densidad acumulada (FDA) es:

$$F(X) = e^{-e^{-\frac{(X-\mu)}{\alpha}}}$$

$$-\infty < X < \infty$$

$$0 < \alpha < \infty$$

$$0 < \mu < \infty$$

Donde:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_i - X_m)^2}{n-1}}$$

$$X_m = \frac{\sum_i^n X_i}{n}$$

$$\mu = X_m - 0,5772\alpha$$

Donde:

σ = Desviación estándar.

α = Parámetro de escala.

μ = Parámetro de posición o moda. X_m = Media.

X_i = Datos.

El parámetro α constituye una medida de dispersión de los datos entorno a un valor central, El parámetro μ constituye una medida de tendencia central, es decir la moda de la distribución.

Cuadro 4: Prueba de bondad de ajuste. Smirnov Kolmogorov.

MUESTRA	DATOS h (mm)	h=x (mm)	P(x) P(x)=m/n+1	α	μ	z	e^{-z}	F(z)	Δ
1	338	332.8	0.0278	97.703	533.488	-2.0541	7.7994	0.0004	0.0274
2	511.4	338.0	0.0556	97.703	533.488	-2.0008	7.3952	0.0006	0.0549
3	654.7	367.0	0.0833	97.703	533.488	-1.7040	5.4960	0.0041	0.0792
4	569.9	376.0	0.1111	97.703	533.488	-1.6119	5.0123	0.0067	0.1045
5	598.9	426.2	0.1389	97.703	533.488	-1.0981	2.9985	0.0499	0.0890
6	686.8	449.6	0.1667	97.703	533.488	-0.8586	2.3598	0.0944	0.0722
7	623.2	487.0	0.1944	97.703	533.488	-0.4758	1.6093	0.2000	0.0056
8	332.8	511.4	0.2222	97.703	533.488	-0.2261	1.2537	0.2855	0.0632
9	690	519.4	0.2500	97.703	533.488	-0.1442	1.1551	0.3150	0.0650
10	707.4	529.6	0.2778	97.703	533.488	-0.0398	1.0406	0.3532	0.0755
11	602.7	536.7	0.3056	97.703	533.488	0.0329	0.9677	0.3800	0.0744
12	570.8	562.2	0.3333	97.703	533.488	0.2939	0.7454	0.4746	0.1412
13	536.7	569.9	0.3611	97.703	533.488	0.3727	0.6889	0.5021	0.1410
14	653.3	570.8	0.3889	97.703	533.488	0.3819	0.6826	0.5053	0.1164
15	604.2	591.3	0.4167	97.703	533.488	0.5917	0.5534	0.5750	0.1583
16	487	592.4	0.4444	97.703	533.488	0.6030	0.5472	0.5786	0.1341
17	562.2	598.9	0.4722	97.703	533.488	0.6695	0.5120	0.5993	0.1271
18	449.6	602.7	0.5000	97.703	533.488	0.7084	0.4924	0.6111	0.1111
19	637.6	604.2	0.5278	97.703	533.488	0.7237	0.4849	0.6157	0.0880
20	376	623.2	0.5556	97.703	533.488	0.9182	0.3992	0.6708	0.1153
21	519.4	637.6	0.5833	97.703	533.488	1.0656	0.3445	0.7086	0.1252
22	529.6	645.9	0.6111	97.703	533.488	1.1505	0.3165	0.7287	0.1176
23	786.2	652.5	0.6389	97.703	533.488	1.2181	0.2958	0.7439	0.1051
24	854.3	653.3	0.6667	97.703	533.488	1.2263	0.2934	0.7457	0.0791
25	645.9	654.1	0.6944	97.703	533.488	1.2345	0.2910	0.7475	0.0531
26	591.3	654.7	0.7222	97.703	533.488	1.2406	0.2892	0.7489	0.0266
27	654.7	654.7	0.7500	97.703	533.488	1.2406	0.2892	0.7489	0.0011
28	654.1	670.4	0.7778	97.703	533.488	1.4013	0.2463	0.7817	0.0039
29	714.9	686.8	0.8056	97.703	533.488	1.5692	0.2082	0.8120	0.0065
30	793.6	690.0	0.8333	97.703	533.488	1.6019	0.2015	0.8175	0.0158
31	592.4	707.4	0.8611	97.703	533.488	1.7800	0.1686	0.8448	0.0163
32	367	714.9	0.8889	97.703	533.488	1.8568	0.1562	0.8554	0.0335
33	652.5	786.2	0.9167	97.703	533.488	2.5865	0.0753	0.9275	0.0108
34	670.4	793.6	0.9444	97.703	533.488	2.6623	0.0698	0.9326	0.0119
35	426.2	854.3	0.9722	97.703	533.488	3.2835	0.0375	0.9632	0.0090

Fuente: Elaboración propia.

2.1.3.2. Determinación de lluvias máximas mediante Gumbell Modificado

Parámetros necesarios para el cálculo de alturas de precipitación máxima diarias y horarias

$$K_{dp} = \frac{\sum K_d * N_i}{\sum N_i} \quad \text{Moda: } E_d = \bar{x} - 0,45 * S_x$$

$$\text{Característica: } K_d = \frac{S_x}{0,557 * E_d}$$

Probabilidades

Estación de estudio	San Jacinto
Media (mm)	625.627
Desviación (mm)	125.310
Moda (mm) (Edp)	569.238
Característica (Kdp)	0.425
Número de datos	35.000

Fuente: Elaboración propia.

Altura de lluvia máxima diaria.

$$h_{dt} = E_{d_p} * (1 + k_{d_p} * \log T)$$

Periodo de R.	h _{dt} (mm)
10 cunetas	794.21
25 alcantarilla	861.93
30	901.55
50	951.46
100	1,019.18
120	1,037.00

Fuente: Elaboración propia.

Altura de lluvia máxima horaria (mm).

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

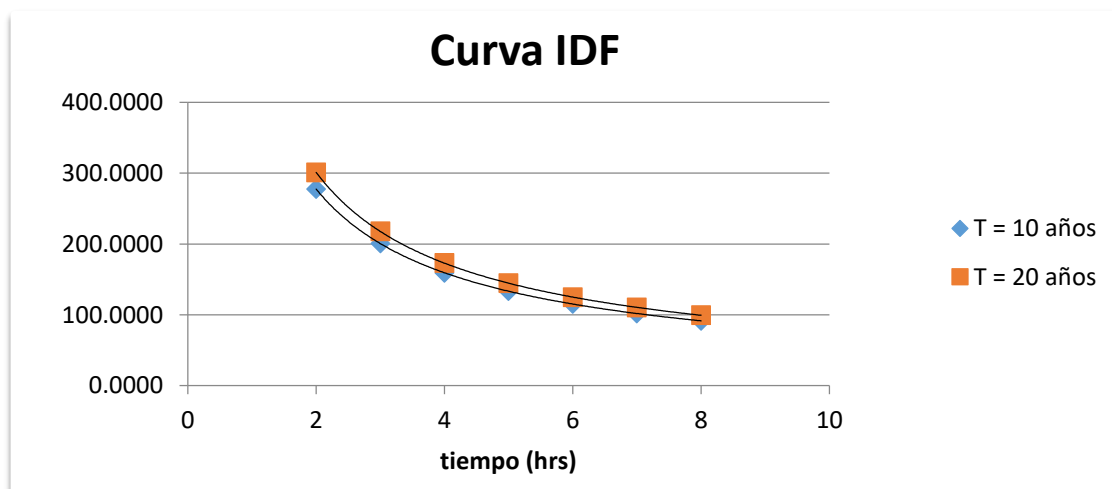
Periodo de retorno (años)	Duración de lluvias (Hrs)						
	2	3	4	5	6	7	8
10	555.02	601.90	637.55	666.64	691.40	713.05	732.35
20	602.34	653.22	691.91	723.49	750.36	773.85	794.80
30	630.03	683.25	723.71	756.74	784.84	809.42	831.33

Intensidades máximas (mm).

Periodo de retorno (años)	Duración de lluvias (Hrs)						
	2	3	4	5	6	7	8
10	277.50	200.63	159.38	133.328	115.233	101.864	91.5434
20	301.17	217.74	172.97	144.697	125.059	110.550	99.3495

Fuente: Elaboración propia.

Intensidad de precipitación para distintos T.10 y 20 años



Fuente: Elaboración propia.

2.1.4. Estudio de tráfico

El estudio de tráfico fue conseguido en base a los datos obtenidos una vez realizado el aforo en 7 días.

Cuadro 5: días aforados

Días	Tiempo de aforación
Martes 5 de Junio de 2018	4:00 am - 10:00pm
Viernes 8 de Junio de 2018	4:00 am - 10:00pm
Sábado 9 de Junio de 2018	4:00 am - 10:00pm
Miércoles 13 de junio de 2018	4:00 am - 10:00pm
Lunes 21 de Enero de 2019	4:00 am - 10:00pm
Jueves 24 de Enero de 2019	4:00 am - 10:00pm
Domingo 27 de Enero de 2019	4:00 am - 10:00pm

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

Se debe aclarar que el punto de conteo del flujo vehicular fue en la comunidad de San Jacinto, en la progresiva del tramo 1+000.

2.1.4.1. Parque automotor de la ciudad de Tarija

Se define como parque automotor, a la cantidad de vehículos que residen en una determinada área, en este caso en la ciudad de Tarija.

A continuación, en el cuadro siguiente se resume el parque automotor.

Cuadro 6: Parque automotor ciudad de Tarija

Servicio	2011	2012	Variación porcentual
Particular	45854	50428	9.98
Publico	1978	2050	3.64
Oficial	1052	1190	13.12
TOTAL	48884	53668	9.79

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

La tasa de crecimiento para la ciudad de Tarija de acuerdo a los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística. (I.N.E.) para el año 2010 presentó un incremento del 10%

Si bien existe tránsito de vehículos pesados, estos mayormente se dan en una época específica del año (durante la época de cosecha de las plantaciones existentes en las zonas) durante todo el año existe el tránsito continuo de vehículos livianos y medianos, en mayor proporción.

Para caminos de desarrollo o vecinales se recomienda que la mediación del tráfico promedio diario anual (TPDA) esté basada en las siguientes categorías: livianos, buses (medianos), camiones (pesados).

Vehículos livianos: Automóviles, camionetas, jeep, vagonetas, otros livianos.

Buses: Micro (22 asientos), ómnibus (23-35 asientos) y ómnibus (36 asientos o más).

Camiones: Pequeño (6 Tn), mediano (6-10 Tn), grande (10 o más Tn) y camiones con acoplado.

Una vez recogidos y procesados los datos en el campo de investigación del emplazamiento del proyecto el TPDA se muestra a continuación:

Para el aforo de vehículos se lo realizó 7 días, desde 4 am hasta las 22:00pm. En total unas 18 horas, como sabemos la norma pide 24 horas de aforo, el día completo, pero para mi persona era algo imposible hacerlo todo el día, por lo tanto, esas horas las completamos con la tasa de nocturnidad histórica de un estudio previo realizado para el mismo tramo.

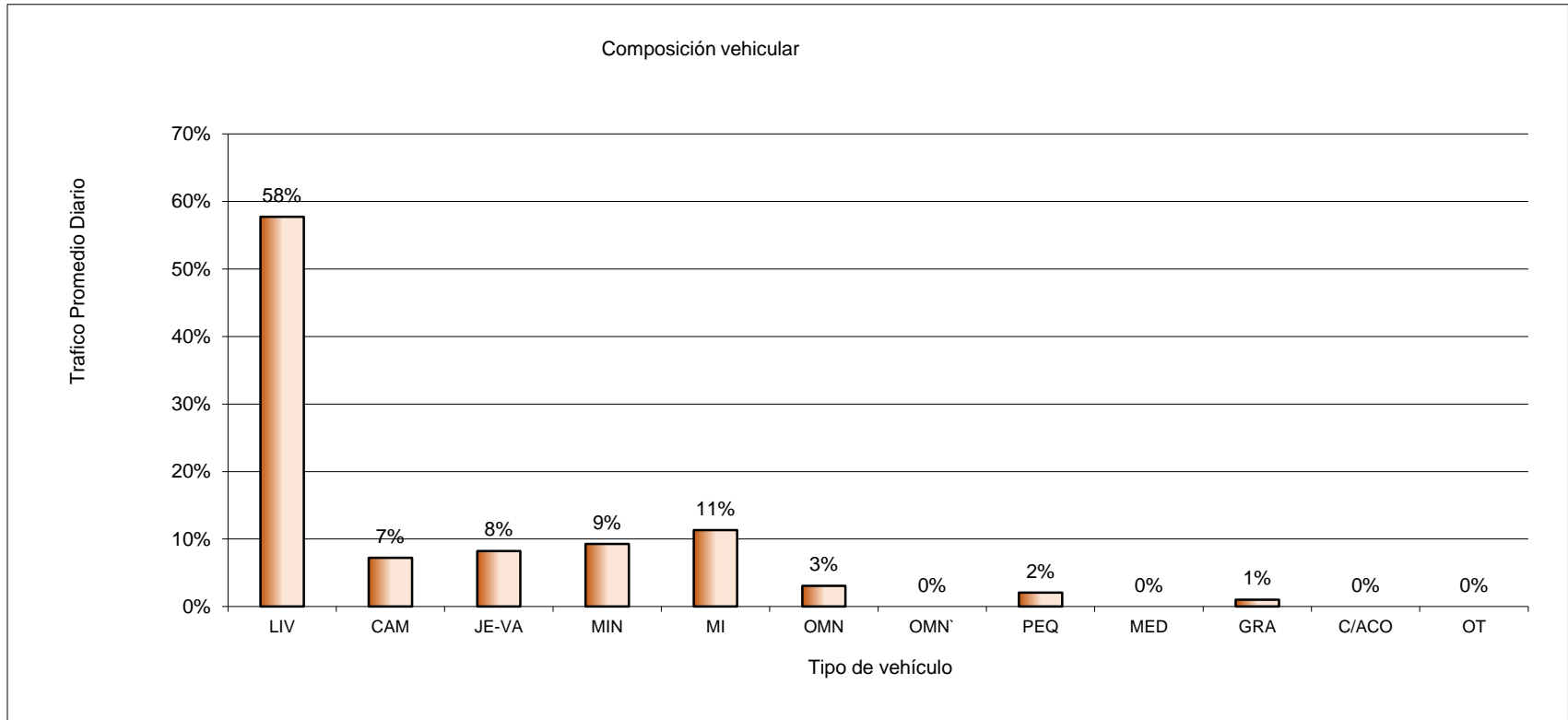
nos muestra el TPD presente, sin tomar en cuenta la tasa de nocturnidad.

Cuadro 7: Estudio de TPDA, Ambas direcciones

Día	Mes	Hora	Livianos				Medianos			Pesados				Otros Otros	Total
			Automóviles	Camionetas	Jeep-Vag.	Minibús	Micro 22 As.	Ómnibus 23-35 As.	Ómnibus ≥ 36 As.	Peq. < 6 T	Med. 6T a < 10 T	Grande ≥ 10 T	C/acoplado		
Promedio 7 Días		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
		6	2	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	6
		7	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
		8	3	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
		9	4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
		10	4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	7
		11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
		12	3	0	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	8
		13	3	2	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	8
		14	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
		15	4	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	7
		16	4	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	7
		17	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
		18	4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	7
		19	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5
		20	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5
		21	2	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	5
		22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Total		56	7	8	9	11	3	2	0	1	0	0	0	97
	%		58%	7%	8%	9%	11%	3%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	100%
			80				14			3				0	
			82.47%				14.43%			3.09%				0.00%	
			88.336				15.4588			3.3126				0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Trafico promedio diario (%)



Fuente: Elaboración propia

Factor de crecimiento por tipo de vehículo

Para la obtención de índice de crecimiento (IC), se trabajó con datos proporcionados por el INE, como ser la tasa anual de crecimiento poblacional, el parque vehicular, y así promediando estos valores se obtuvo el índice de crecimiento para los vehículos livianos, medianos y pesados. A continuación, también obtenemos el factor de crecimiento y proyectamos los vehículos para los años correspondientes.

Cuadro 8: Índice de crecimiento (%)

Tasa anual de crecimiento poblacional (%)	
Tarija	10
Parque vehicular (%)	
Livianos	10,53
Medianos	-
Pesados	7,34
Índice de crecimiento promedio (IC) (%)	
Livianos	10.27
Medianos	8.67
Pesados	8.67

Fuente: INE 2012 y elaboración propia

2.1.4.2. Periodo de diseño y tráfico generado

El periodo de diseño del pavimento se tomó para una proyección de 12 años para pavimento flexible con concreto asfáltico (CA) tiempo de vida útil. Por otra parte para las proyecciones de tránsito en la vida útil del proyecto y según la evolución del estudio de tráfico, se consideró tasas de crecimiento tal como se muestra en la siguiente tabla.

Cuadro 9: Trafico promedio diario proyectado por el factor de crecimiento de cada vehículo tipo

Periodo	Año	Livianos				Mediano			Pesado				Total
		Automóviles	Camionetas	Jeep-Vag.	Minibús	Micro 22 As.	Ómnibus 23-35 As.	Ómnibus ≥ 36 As.	Peq < 6 T	Med 6T a < 10 T	Grande ≥ 10 T	C/acoplado	
0	2018	56	7	8	9	11	3	0	2	0	1	0	97
1	2019	62	8	9	10	12	3	0	2	0	1	0	107
3	2021	75	9	11	12	14	4	0	3	0	1	0	129
4	2022	83	10	12	13	15	4	0	3	0	1	0	141
5	2023	91	11	13	15	17	5	0	3	0	2	0	157
6	2024	101	13	14	16	18	5	0	3	0	2	0	172
7	2025	111	14	16	18	20	5	0	4	0	2	0	190
8	2026	122	15	17	20	21	6	0	4	0	2	0	207
9	2027	135	17	19	22	23	6	0	4	0	2	0	228
10	2028	149	19	21	24	25	7	0	5	0	2	0	252
11	2029	164	21	23	26	27	7	0	5	0	2	0	275
12	2030	181	23	26	29	30	8	0	5	0	3	0	305
13	2031	199	25	28	32	32	9	0	6	0	3	0	334
14	2032	220	27	31	35	35	10	0	6	0	3	0	367
15	2033	243	30	35	39	38	10	0	7	0	3	0	405
16	2034	267	33	38	43	42	11	0	8	0	4	0	446
17	2035	295	37	42	47	45	12	0	8	0	4	0	490
18	2036	325	41	46	52	49	13	0	9	0	4	0	539
19	2037	359	45	51	58	53	15	0	10	0	5	0	596
20	2038	395	49	56	64	58	16	0	11	0	5	0	654
21	2039	436	54	62	70	63	17	0	11	0	6	0	719
22	2040	481	60	69	77	69	19	0	12	0	6	0	793
Total periodo		4618	577	657	742	730	199	0	133	0	65	0	7721

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 10: Tráfico generado al 20% TPD

Periodo	Año	20%	TPDg = Afectamos por un 20 % de tráfico generado a cada tipo de vehículo										Total
		Automóviles	Camionetas	Jeep-Vag.	Minibús	Micro 22 As.	Ómnibus 23-35 As.	Ómnibus ≥ 36 As.	Peq < 6 T	Med 6T a < 10 T	Grande ≥ 10 T	C/acoplado	
	2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2021	15	2	2	2	3	1	0	1	0	0	0	26
2	2022	17	2	2	3	3	1	0	1	0	0	0	29
3	2023	18	2	3	3	3	1	0	1	0	0	0	31
4	2024	20	3	3	3	4	1	0	1	0	0	0	35
5	2025	22	3	3	4	4	1	0	1	0	0	0	38
6	2026	24	3	3	4	4	1	0	1	0	0	0	40
7	2027	27	3	4	4	5	1	0	1	0	0	0	45
8	2028	30	4	4	5	5	1	0	1	0	0	0	50
9	2029	33	4	5	5	5	1	0	1	0	0	0	54
10	2030	36	5	5	6	6	2	0	1	0	1	0	62
11	2031	40	5	6	6	6	2	0	1	0	1	0	67
12	2032	44	5	6	7	7	2	0	1	0	1	0	73
13	2033	49	6	7	8	8	2	0	1	0	1	0	82
14	2034	53	7	8	9	8	2	0	2	0	1	0	90
15	2035	59	7	8	9	9	2	0	2	0	1	0	97
16	2036	65	8	9	10	10	3	0	2	0	1	0	108
17	2037	72	9	10	12	11	3	0	2	0	1	0	120
18	2038	79	10	11	13	12	3	0	2	0	1	0	131
19	2039	87	11	12	14	13	3	0	2	0	1	0	143
20	2040	96	12	14	15	14	4	0	2	0	1	0	158
Total periodo		886	111	111	142	140	37	0	27	0	11	0	1479

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11: Proyección del TPDA (tráfico total normal + generado) (veh/día), para 20 años

Periodo	Año	Livianos				Mediano			Pesado				Total
		Automóviles	Camionetas	Jeep-Vag.	Mini bus	Micro 22 As.	Ómnibus 23-35 As.	Ómnibus ≥ 36 As.	Peq < 6 T	Med 6T a < 10 T	Grande ≥ 10 T	C/acoplado	
	2018	56	7	8	9	11	3	0	2	0	1	0	97
	2019	62	8	9	10	12	3	0	2	0	1	0	107
	2020	68	9	10	11	13	4	0	2	0	1	0	118
1	2021	90	11	13	14	17	5	0	4	0	1	0	155
2	2022	100	12	14	16	18	5	0	4	0	1	0	170
3	2023	109	13	16	18	20	6	0	4	0	2	0	188
4	2024	121	16	17	19	22	6	0	4	0	2	0	207
5	2025	133	17	19	22	24	6	0	5	0	2	0	228
6	2026	146	18	20	24	25	7	0	5	0	2	0	247
7	2027	162	20	23	26	28	7	0	5	0	2	0	273
8	2028	179	23	25	29	30	8	0	6	0	2	0	302
9	2029	197	25	28	31	32	8	0	6	0	2	0	329
10	2030	217	28	31	35	36	10	0	6	0	4	0	367
11	2031	239	30	34	38	38	11	0	7	0	4	0	401
12	2032	264	32	37	42	42	12	0	7	0	4	0	440
13	2033	292	36	42	47	46	12	0	8	0	4	0	487
14	2034	320	40	46	52	50	13	0	10	0	5	0	536
15	2035	354	44	50	56	54	14	0	10	0	5	0	587
16	2036	390	49	55	62	59	16	0	11	0	5	0	647
17	2037	431	54	61	70	64	18	0	12	0	6	0	716
18	2038	474	59	67	77	70	19	0	13	0	6	0	785
19	2039	523	65	74	84	76	20	0	13	0	7	0	862
20	2040	577	72	83	92	83	23	0	14	0	7	0	951
Total periodo		5318	664	755	854	834	226	0	154	0	73	0	8878

Fuente: Elaboración propia

2.2. Diseños

2.2.1. Diseño Geométrico

2.2.1.1. Sistema de clasificación

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

Carreteras: autopistas, Autorutas y primarias.

Caminos: colectores, locales y de desarrollo.

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

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

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

Las velocidades referenciales de proyecto son:

Terreno llano a ondulado medio 50 y 40 Km/h

Terreno ondulado. - Está constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota que, si bien no son demasiado importantes en términos absolutos, son repetitivos, lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido que pueden fluctuar entre 3 al 6%, según la categoría de la ruta. El trazado en planta puede estar condicionado en buena medida por el relieve del terreno, con el objeto de evitar cortes y terraplenes de gran altura, lo que justificará un uso más frecuente de elementos del orden de los mínimos. Según la

importancia de las ondulaciones del terreno se podrá tener un ondulado medio o un franco o fuerte.

2.2.1.2. Categoría de camino

Todo el diseño se basó en el manual técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia, obteniendo las siguientes referencias:

El ancho de la calzada será de 6 m, sin considerar las dimensiones de las bermas y dos carriles que permite el paso de un camión sin problema.

Tabla 2: Clasificación funcional para diseño carreteras y caminos rurales

Categoría		Sección transversal		Velocidades de	Código
		Nro. carriles	Nro. calzadas	proyecto (km/h)	tipo
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		2 BD	1	50 – 40 – 30*	D - xx

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

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

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.2.1.3. Velocidad de diseño o proyecto

Es la velocidad que permite medir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, elementos que solo podrán ser empleados en la medida que estén precedidos por el otro (en ambos sentidos del tránsito) que anticipen al usuario que se está entrando a un tramo de características geométricas mínimas, el que además deberá estar debidamente señalado.

La velocidad de proyecto reemplaza a la denominada velocidad de diseño, por cuanto como se verá más adelante, se introducen nuevos conceptos que también intervendrán en el diseño, como son la velocidad específica (V_e) y la velocidad percentil 85 ($V_{85\%}$). En consecuencia, el concepto velocidad de proyecto se usa para efectos del sistema de clasificación funcional para diseño, a fin de indicar el estándar global asociado a la carretera y para definir los parámetros mínimos aceptables bajo condiciones bien definidas. Según la categoría asumida para la carretera y de acuerdo a la norma, se tiene los siguientes rangos de velocidades en función de la topografía.

Tabla 3: Velocidades de proyecto.

Categoría		Velocidades de proyecto (km/h)			Código
		Llano a ondulado medio	Ondulado fuerte	Montañoso	tipo
Autopista	(O)	120	100	80	A (n) - xx
Autorruta	(I.A)	100	90	80	AR (n) - xx
Primario	(I.B)	100	90	80	P (n) - xx
		100	90	80	P (2) - xx
Colector	(II)	80	70	60	C (n) - xx
		80	70	60	C (2) - xx
Local	(III)	70	60	50 – 40	L (2) - xx
Desarrollo		50	40	30	D - xx

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

$$V_d = 40 \text{ km/h}$$

2.2.1.4. Diseño Planimétricos

Para el diseño planimétricos, que llegaría a ser el diseño en planta de la carretera con todas sus características, parámetros y componentes (eje principal, tipos de curvas utilizadas, peraltes, bermas, anchos de calzada, sobreebanco, etc).

2.2.1.4.1. Distancia de frenado

En todo punto de una carretera o camino, un conductor que se desplace a la velocidad V , por el centro de su carril de tránsito, debe disponer al menos de la visibilidad equivalente

a la distancia requerida para detenerse ante un obstáculo inmóvil, situado en el centro de dicho carril. Se considera obstáculo aquél de una altura igual o mayor que 0,20 m (h2), estando situados los ojos de conductor a 1,10 m (h1), sobre la rasante del eje de su carril de circulación.

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

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

$$D_{\text{frenado}} = 38 \text{ m}$$

Dónde:

Df = Distancia de frenado (m)

V = Vp o V*

t = Tiempo de percepción + reacción (2sg)

f1 = Coeficiente de roce rodante, pavimento húmedo

i = Pendiente longitudinal (m/m)

+i subidas respecto sentido de circulación -i bajadas respecto sentido de circulación

Tabla 4: Distancia mínima de frenado en horizontal Df.

V	t	f ₁	dt	Df	Df (m)	
km/h	s	-	m	m	dt+df	Adopt.
30	2	0,420	16,7	8,4	25,1	25
35	2					31
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38
45	2					44
50	2	0,410	27,8	24,0	51,8	52

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

La distancia mínima de frenado en horizontal es de 38 m.

$$D_{\text{frenado}} = 38 \text{ m}$$

2.2.1.4.2. Distancia de adelantamiento

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

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

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

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

Tabla 5: Distancia mínima de adelantamiento.

Velocidad de proyecto km/h	Distancia mínima de adelantamiento (m)
30	180
40	240
50	300

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.2.1.4.3. Radio mínimo

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

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

Dónde:

$R_{\text{mín}}$ = Radio mínimo absoluto (m).

V_p = Velocidad de proyecto (Km/h).

$e_{\text{máx}}$ = Peralte máximo correspondiente a la carretera o el camino (m/m).

f = Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a V_p .

Tabla 6: Radios mínimos absolutos en curvas horizontales.

Caminos colectores - locales - desarrollo			
V_p	$e_{\text{máx}}$	f	$R_{\text{mín}}$
km/h	(%)		(m)
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

De acuerdo a la velocidad de diseño para el camino en desarrollo, se cuenta con un radio mínimo de 50 m.

$$R_{\text{mín}} = 50 \text{ m}$$

2.2.1.4.4. Peralte

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

El peralte lo obtenemos con la siguiente formula presentada en las tablas.

Tabla 7: Calculo de peraltes

Radio (m)	Peralte (%)
$25 \leq R \leq 350$	7
$350 < R \leq 2500$	$7 - 6,08 \cdot \left(1 - \frac{350}{R}\right)^{1,3}$
$2500 < R \leq 3500$	2
$3500 < R$	Igual al bombeo

$$E = 7\%$$

Cálculo para curvas horizontales.

CURVAS HORIZONTALES							
Replanteo, Peralte y sobre ancho							
Curva 1							
DATOS INICIALES.-							
Velocidad de proy=	40 km/hr						
Numero de carriles=	2						
Prog. inicial=	0+045.38						
Prog. Final=	0+085.79						
Curva Circular Simple							
Calculo de los elementos:							
Δ = ángulo de deflexión =	9°	15'	38"	=	9.26°		
R = radio de curvatura =	250.00 m						
Tangente:	$T = R * \operatorname{Tg}\left(\frac{\Delta}{2}\right)$	→	T =	20.25	m		
Externa:	$E = R * \left[\operatorname{Sec}\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1\right]$	→	E =	0.82	m		
Flecha:	$f = R * \left[1 - \operatorname{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right]$	→	f =	0.82	m		
Long de la cuerda	$Lc = 2 * R * \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right)$	→	Lc =	40.36	m		
Desarrollo de curva	$Dc = \frac{2 * \pi * R * \Delta}{360}$	→	Dc =	40.41	m		
PLANILLA DE REPLANTEO							
Angulo Tangencial :	$Ci = \frac{180 * d_{acumulada}}{2 * \pi * R}$						
Peralte :	$P = \frac{V^2}{127 * R} - 0.196 + 0.0007 * V \leq 12\%$ = 2.83 %						
Sobreancho :	$X = \left(R - \sqrt{R^2 - Lv^2}\right) * n + \frac{0.10 * V}{\sqrt{R}} \leq 0.50 \text{ m} = 0.54 \text{ m}$						
PROG.	DIST. PARCIAL (m)	DIST. ACUM. (m)	ANGULOS TANGENCIALES Ci			PERALTE P (m)	S. ANCHO X (Cm)
PC 0+45.38	0.00	0.00	0°	0'	0.00"	0.000	0.00
0+050.43	5.05	5.05	0°	34'	43.63"	0.045	0.25
0+055.48	5.05	10.10	1°	9'	27.25"	0.091	0.50
0+060.53	5.05	15.15	1°	44'	10.88"	0.091	0.50
0+065.58	5.05	20.20	2°	18'	54.50"	0.091	0.50
0+070.63	5.05	25.25	2°	53'	38.12"	0.091	0.50
0+075.69	5.05	30.31	3°	28'	21.75"	0.091	0.50
0+080.74	5.05	35.36	4°	3'	5.38"	0.045	0.25
FC 0+85.79	5.05	40.41	4°	37'	49.00"	0.000	0.00

Reporte de curvas horizontales

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES									
Curva #	Radio	Longitud	Inicio	Fin	Flecha	Secante Externa	Tangente	PI	D
C1	250.00	40.41	(321135.81,7610247.92)	(321096.26,7610239.83)	0.816	0.819	20.248	N7610245.4775 E321115.71	9.2607
C2	250.00	45.15	(321042.31,7610224.17)	(321000.32,7610207.75)	1.019	1.023	22.637	N7610217.8635 E321020.58	10.3478
C3	100.00	30.98	(320864.27,7610139.82)	(320839.12,7610121.94)	1.197	1.212	15.614	N7610132.8410 E320850.30	17.7493
C4	50.00	22.57	(320815.08,7610098.49)	(320802.97,7610079.68)	1.268	1.301	11.480	N7610090.4779 E320806.87	25.8615
C5	50.00	13.17	(320793.99,7610054.82)	(320787.95,7610043.16)	0.433	0.437	6.622	N7610048.5880 E320791.74	15.0888

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES									
Curva #	Radio	Longitud	Inicio	Fin	Flecha	Secante Externa	Tangente	PI	D
C6	100.00	31.88	(320774.80,7610024.34)	(320752.71,7610001.53)	1.268	1.284	16.076	N7610011.1617 E320765.59	18.2655
C7	100.00	45.24	(320669.29,7609939.15)	(320628.26,7609921.02)	2.548	2.615	23.016	N7609925.3615 E320650.86	25.9230
C8	100.00	23.92	(320591.65,7609913.99)	(320568.91,7609906.73)	0.715	0.720	12.019	N7609911.7276 E320579.84	13.7070
C9	250.00	28.34	(320503.13,7609876.65)	(320478.08,7609863.43)	0.401	0.402	14.184	N7609870.7461 E320490.23	6.4945
C10	150.00	43.70	(320392.07,7609811.61)	(320358.43,7609783.96)	1.589	1.606	22.007	N7609800.2492 E320373.22	16.6930

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES									
Curva #	Radio	Longitud	Inicio	Fin	Flecha	Secante Externa	Tangente	PI	D
C11	250.00	25.18	(320288.99,7609707.47)	(320271.16,7609689.72)	0.317	0.317	12.598	N7609698.1457 E320280.52	5.7698
C12	100.00	23.98	(320208.42,7609633.25)	(320188.86,7609619.48)	0.718	0.723	12.048	N7609625.1878 E320199.47	13.7393
C13	250.00	39.11	(320186.71,7609618.33)	(320150.96,7609602.58)	0.764	0.767	19.594	N7609609.0569 E320169.45	8.9631
C14	80.00	31.45	(320044.46,7609565.31)	(320017.56,7609549.43)	1.540	1.570	15.928	N7609560.0480 E320029.43	22.5214
C15	80.00	20.27	(319951.71,7609490.53)	(319938.46,7609475.26)	0.641	0.646	10.190	N7609483.7382 E319944.11	14.5180

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES									
Curva #	Radio	Longitud	Inicio	Fin	Flecha	Secante Externa	Tangente	PI	D
C16	80.00	16.89	(319899.05,7609416.09)	(319888.27,7609403.12)	0.446	0.448	8.479	N7609409.0341 E319894.35	12.1001
C17	80.00	49.34	(319756.45,7609274.79)	(319713.01,7609253.08)	3.774	3.961	25.485	N7609257.0171 E319738.19	35.3398
C18	250.00	27.69	(319649.56,7609243.16)	(319622.49,7609237.37)	0.383	0.384	13.861	N7609241.0135 E319635.87	6.3469
C19	80.00	15.92	(319591.01,7609228.79)	(319576.16,7609223.12)	0.396	0.398	7.986	N7609226.6960 E319583.30	11.4011
C20	150.00	23.95	(319450.57,7609160.12)	(319430.11,7609147.72)	0.478	0.479	12.000	N7609154.7415 E319439.85	9.1479

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES									
Curva #	Radio	Longitud	Inicio	Fin	Flecha	Secante Externa	Tangente	PI	D
C21	80.00	36.83	(319372.19,7609105.98)	(319348.23,7609078.43)	2.110	2.167	18.748	N7609095.0124 E319356.99	26.3786
C22	80.00	15.15	(319269.65,7608929.62)	(319261.36,7608916.97)	0.358	0.360	7.596	N7608922.9002 E319266.10	10.8476
C23	120.00	11.47	(319257.14,7608911.70)	(319249.55,7608903.10)	0.137	0.137	5.739	N7608907.2222 E319253.55	5.4762
C24	80.00	23.54	(319040.47,7608687.80)	(319026.77,7608668.76)	0.865	0.874	11.858	N7608679.2927 E319032.21	16.8624
C25	80.00	10.93	(319010.70,7608637.62)	(319006.37,7608627.59)	0.187	0.187	5.473	N7608632.7528 E319008.19	7.8270

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES									
Curva #	Radio	Longitud	Inicio	Fin	Flecha	Secante Externa	Tangente	PI	D
C26	80.00	47.36	(318991.33,7608585.06)	(318963.61,7608547.50)	3.480	3.638	24.398	N7608562.0545 E318983.20	33.9209
C27	100.00	42.34	(318912.95,7608509.87)	(318874.71,7608492.46)	2.232	2.283	21.490	N7608497.0548 E318895.70	24.2566
C28	50.00	58.88	(318831.44,7608482.98)	(318792.93,7608442.97)	8.420	10.126	33.393	N7608475.8398 E318798.82	67.4744
C29	50.00	47.80	(318778.46,7608362.37)	(318750.42,7608325.90)	5.605	6.313	25.906	N7608336.8682 E318773.89	54.7794
C30	50.00	25.85	(318715.91,7608309.78)	(318696.29,7608293.39)	1.661	1.719	13.221	N7608304.1803 E318703.94	29.6234

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES									
Curva #	Radio	Longitud	Inicio	Fin	Flecha	Secante Externa	Tangente	PI	D
C31	200.00	37.83	(318547.68,7608083.74)	(318523.03,7608055.12)	0.894	0.898	18.974	N7608068.2605 E318536.71	10.8389
C32	100.00	47.15	(318385.29,7607922.89)	(318360.08,7607883.56)	2.766	2.845	24.021	N7607906.2531 E318367.96	27.0143
C33	50.00	53.03	(318349.23,7607852.34)	(318310.75,7607819.52)	6.867	7.960	29.314	N7607824.6496 E318339.61	60.7653
C34	50.00	80.03	(318201.50,7607800.10)	(318161.31,7607740.65)	15.177	21.792	51.518	N7607791.0801 E318150.78	91.7130
C35	50.00	18.48	(318162.57,7607734.65)	(318169.56,7607717.65)	0.852	0.866	9.349	N7607725.4963 E318164.48	21.1811

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES									
Curva #	Radio	Longitud	Inicio	Fin	Flecha	Secante Externa	Tangente	PI	D
C36	50.00	84.91	(318184.33,7607694.89)	(318164.05,7607622.61)	16.968	25.685	56.817	N7607647.2261 E318215.26	97.3033
C37	50.00	16.83	(318135.81,7607609.04)	(318122.14,7607599.36)	0.706	0.716	8.494	N7607605.3600 E318128.15	19.2829
C38	50.00	28.09	(318100.50,7607577.75)	(318076.21,7607564.37)	1.960	2.040	14.429	N7607567.5524 E318090.28	32.1942
C39	50.00	16.96	(318052.21,7607558.93)	(318036.61,7607552.48)	0.717	0.728	8.561	N7607557.0385 E318043.86	19.4317
C40	50.00	23.24	(318014.20,7607538.37)	(317992.40,7607530.92)	1.345	1.382	11.836	N7607532.0621 E318004.18	26.6348

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES									
Curva #	Radio	Longitud	Inicio	Fin	Flecha	Secante Externa	Tangente	PI	D
C41	40.00	69.56	(317888.80,7607520.84)	(317854.07,7607470.54)	14.190	21.992	47.361	N7607516.2508 E317841.66	99.6327
C42	40.00	14.96	(317867.94,7607419.47)	(317869.10,7607404.64)	0.697	0.710	7.569	N7607412.1624 E317869.92	21.4303
C43	19.69	57.34	(317868.44,7607398.61)	(317829.32,7607398.39)	17.437	152.432	170.992	N7607228.6362 E317849.85	166.8628
C44	25.00	47.72	(317824.53,7607437.94)	(317788.65,7607457.36)	10.547	18.244	35.285	N7607472.9726 E317820.30	109.3638
C45	80.00	23.73	(317628.13,7607378.17)	(317608.71,7607364.69)	0.878	0.888	11.953	N7607372.8767 E317617.41	16.9957

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES									
Curva #	Radio	Longitud	Inicio	Fin	Flecha	Secante Externa	Tangente	PI	D
C46	80.00	48.51	(317565.39,7607323.93)	(317541.96,7607282.30)	3.649	3.824	25.029	N7607306.7814 E317547.17	34.7452
C47	50.00	79.23	(317435.06,7606779.31)	(317375.08,7606740.95)	14.890	21.204	50.696	N7606729.7224 E317424.52	90.7916
C48	50.00	45.61	(317313.36,7606754.96)	(317279.09,7606782.63)	5.112	5.694	24.532	N7606760.3898 E317289.43	52.2680
C49	50.00	9.45	(317255.26,7606833.87)	(317250.49,7606842.02)	0.223	0.224	4.741	N7606838.1722 E317253.26	10.8332
C50	150.00	21.66	(317231.09,7606868.94)	(317219.73,7606887.37)	0.391	0.392	10.850	N7606877.7456 E317224.74	8.2743

ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES									
Curva #	Radio	Longitud	Inicio	Fin	Flecha	Secante Externa	Tangente	PI	D
C51	200.00	22.71	(317181.18,7606961.44)	(317169.57,7606980.95)	0.322	0.323	11.368	N7606971.5219 E317175.93	6.5063
C52	200.00	23.00	(317138.35,7607027.21)	(317126.61,7607046.98)	0.331	0.331	11.515	N7607036.7601 E317131.91	6.5903

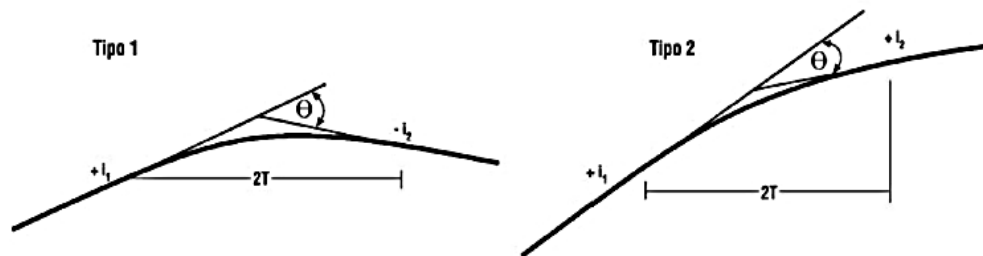
2.2.1.5. Diseño altimétrico

2.2.1.5.1. Alineamiento vertical

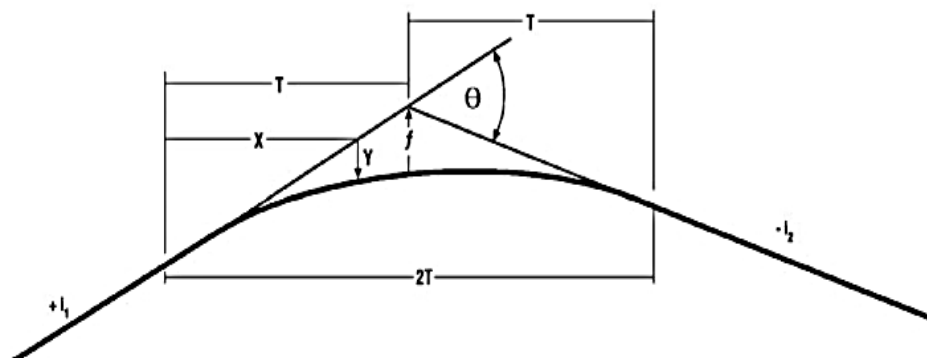
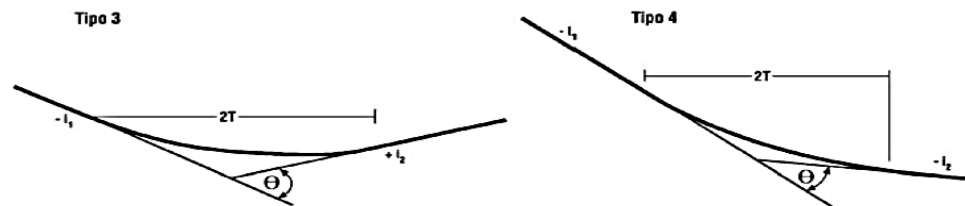
Las cotas de eje en planta de una carretera o camino, al nivel de la superficie del pavimento o capa de rodadura, constituyen la rasante o línea de referencia del alineamiento vertical. La representación gráfica de esta rasante recibe el nombre de PERFIL LONGITUDINAL DE PROYECTO

Figura 5: Elementos de la curva vertical

Curvas verticales convexas



Curvas verticales cóncavas



Fuente: Manual de la ABC "Diseño Geométrico"

2.2.1.5.2. Curvas verticales convexas

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

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

$$k_v = \frac{38^2}{2 \cdot (\sqrt{1.10} + \sqrt{0.20})^2}$$

$$k_v = 322.59$$

K_v = Parámetro curva vertical convexo (m).

Df = Distancia de frenado f (V^*) m.

h_1 = Altura ojos del conductor 1,10 m.

h_2 = Altura obstáculo fijo 0,20 m.

Luego:

$$K_v = \frac{Df^2}{4,48}$$

2.2.1.5.3. Curvas verticales cóncavas

La distancia de frenado nocturna sobre un obstáculo fijo que debe quedar dentro de la zona iluminada por los faros del vehículo.

$$K_c = \frac{Df^2}{2 \cdot (h + Df \sin \beta)}$$

K_c = Parámetro curva vertical concava (m).

Df = Distancia de frenado f (V_p) (m). (Se considera que de noche los usuarios no superen V_p)

h = Altura focos del vehículo 0,6 m.

β = Altura de abertura del haz luminoso respecto de su eje 1° .

Luego:

$$K_c = \frac{Df^2}{(1,2 + 0,035Df)}$$

$$K_c = \frac{38^2}{(1,2 + 0,035 * 38)}$$

$$K_c = 570.75$$

2.2.1.5.4. Longitud mínima de curvas verticales.

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

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

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

En los casos en que la combinación parámetro mínimo ángulo de deflexión θ no cumple con esta condición de desarrollo mínimo, se determinara el parámetro mínimo admisible a partir de:

$$K = 2 \cdot \frac{T_{\text{mínimo}}}{\theta} \geq \frac{V_p}{\theta}$$

2.2.1.5.5. Parámetros mínimos por visibilidad de frenado

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

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

Tabla 8: Parámetros mínimos en curvas verticales visibilidad de frenado

Velocidad de proyecto	Curvas convexas Kv			Curvas cóncavas Kc
	V=Vp Km/h	V=Vp+5 Km/h	V=Vp+ 10km/h	Vp Km/h
30	300	300	300	400
40	400	500	600	500
50	700	950	1100	1000
60	1200	1450	1800	1400
70	1800	2350	2850	1900
80	3000	3550	4400	2600
90	4700	5100	6000	3400

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.2.1.5.6. Parámetros mínimos por visibilidad de adelantamiento

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

Tabla 9: Parámetro mínimo de curvas verticales convexas

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

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.2.1.5.7. Calzada

Es la parte del camino destinada a la circulación de los vehículos y está constituida por uno o más carriles. El ancho y el estado de la superficie de la calzada tienen gran influencia en la seguridad y confort del usuario del camino. Con la tabla de anchos de calzadas según categorías de la norma manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia se tiene para la calzada bidireccional, categoría desarrollo y una velocidad de proyecto de 40 km/h:

$$\text{Ancho de calzada (a)} = 6 \text{ m}$$

2.2.1.5.8. Pendiente transversal o bombeo

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

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

De acuerdo a la tabla de bombeo de la calzada de la norma manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia tenemos que, para un tratamiento superficial y un pavimento, con intensidades menores a 15 mm/h:

Bombeo = 2 % (Tratamiento superficial)

Bombeo = 3 % (Pavimento de hormigón o asfalto)

2.2.1.5.9. Ancho de berma

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

Permiten que los conductores con momentánea pérdida de control del vehículo o los obligados a realizar maniobras de emergencia para evitar, puedan salir de la calzada y retornar a la misma en condiciones de seguridad razonables. A mayor volumen de tránsito, mayor es la probabilidad de que se utilicen las bermas en casos de emergencia.

Proporcionan un lugar seguro, para estacionar los vehículos con desperfectos o cuyos conductores queden incapacitados para continuar conduciendo, fuera de la trayectoria de los demás vehículos. Por eso, tiene influencia en la capacidad y la seguridad de los caminos.

Dan confianza al conductor de utilizar el ancho total del carril de la calzada al proporcionar un ancho adicional a la zona de rodamiento.

Sirven de soporte lateral a la zona de circulación y protegen contra la humedad y posible erosión de la calzada.

Mejoran la visibilidad en los tramos en curva.

El ancho de berma adoptado para una velocidad de proyecto de 40 km/h es:

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

2.2.1.5.10. Sección transversal

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

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

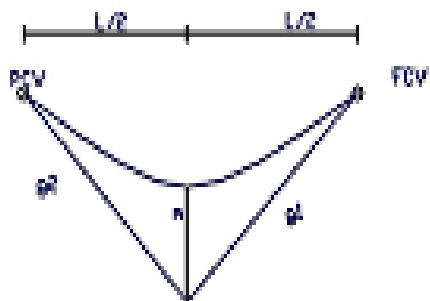
Cuadro 12: Parámetros de diseño de secciones transversales.

Secciones transversales	
Ancho de calzada	6 m
Bombeos	3 %
Bermas	0,5 m
Sobreancho	0,5 m

Fuente: Elaboración propia.

Calculo de Curva vertical

Curva en columbio 1



Velocidad de proyecto (v) =	40	km/h
Tiempo de reacción (t) =	2	seg
Coefficiente de fricción (f) =	0.4	-
Pendiente de entrada (g1) =	6.75	%
Pendiente de salida (g2) =	-0.2	%
Altura de faros del vehículo =	0.6	m
Angulo del cono luminoso	1	°
	$P = g1 - g2 =$	6.95 %

Distancia de visibilidad para parar do [m]

$$d_{parar} = \frac{vt}{3.6} + \frac{v^2}{254(f \pm i)} = 35.696$$

Se diseña la curva

$$L_{min} = \frac{P \cdot do^2}{2 \cdot (H_1 + do \cdot \tan \alpha)}$$

36.203 **Cumple**

Longitud de curva= **150** m

Replanteo

$$L1 = 75 \text{ m}$$

$$L2 = 75 \text{ m}$$

Prog. inicial **0+189.92**

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

Cálculo del punto mas bajo:

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

$$X_p = \frac{L \cdot g1}{g1 - g2}$$

Xp= **145.68** m **Está en la curva**

Progresiva del punto más bajo= **0+335.60**

	Progr.	Dis. parcial	Dist. acum.	Deflex.	Desniv.	Cota rasant.	Cota curva
PCV	0+189.92	0	0.000	0.000	0	364.459	364.459
	0+208.67	18.750	18.750	0.081	1.2656	365.725	365.643
	0+227.42	18.750	37.500	0.326	1.2656	366.990	366.664
	0+246.17	18.750	56.250	0.733	1.2656	368.256	367.523
V	0+264.92	18.750	75.000	1.303	1.2656	369.522	368.218
	0+283.67	18.750	93.750	2.036	-0.0375	369.484	367.448
	0+302.42	18.750	112.500	2.932	-0.0375	369.447	366.514
	0+321.17	18.750	131.250	3.991	-0.0375	369.409	365.418
FCV	0+339.92	18.750	150.000	5.213	-0.0375	369.372	364.159

A continuación, se detalla tipo de curvas extraídas por el programa civil 3d

Reporte de curva vertical

VAV	P.K.	Inclinación de rasante T.S.	Longitud de curva	
0	0+000.00	0.20%		
1	0+264.91	6.75%	150.000m	
Información de acuerdo vertical: (acuerdo cóncavo)				
	P.K. de PAV:	0+189.91	Elevación:	1,922.247m
	P.K. de VAV:	0+264.91	Elevación:	1,922.397m
	P.K. de PTV:	0+339.91	Elevación:	1,927.463m
	Punto bajo:	0+189.91	Elevación:	1,922.247m
	Inclinación de rasante T.E.:	0.20%	Inclinación de rasante T.S.:	6.75%
	Cambiar:	6.55%	K:	22.88432307
	Longitud de curva:	150.000m		
	Distancia de iluminación:	143.624m		
2	0+634.05	1.10%	150.000m	
Información de acuerdo vertical: (acuerdo convexo)				
	P.K. de PAV:	0+559.05	Elevación:	1,942.266m
	P.K. de VAV:	0+634.05	Elevación:	1,947.332m
	P.K. de PTV:	0+709.05	Elevación:	1,948.157m
	Punto alto:	0+709.05	Elevación:	1,948.157m
	Inclinación de rasante T.E.:	6.75%	Inclinación de rasante T.S.:	1.10%
	Cambiar:	5.65%	K:	26.52658004
	Longitud de curva:	150.000m		
	Distancia de adelantamiento:	348.465m	Distancia de parada:	192.526m
3	1+270.34	-0.59%	150.000m	
Información de acuerdo vertical: (acuerdo convexo)				
	P.K. de PAV:	1+195.34	Elevación:	1,953.506m
	P.K. de VAV:	1+270.34	Elevación:	1,954.331m
	P.K. de PTV:	1+345.34	Elevación:	1,953.885m
	Punto alto:	1+292.68	Elevación:	1,954.042m
	Inclinación de rasante T.E.:	1.10%	Inclinación de rasante T.S.:	-0.59%
	Cambiar:	1.69%	K:	88.49655827
	Longitud de curva:	150.000m		
	Distancia de adelantamiento:	987.318m	Distancia de parada:	467.084m
4	1+560.36	2.91%	150.000m	
Información de acuerdo vertical: (acuerdo cóncavo)				
	P.K. de PAV:	1+485.36	Elevación:	1,953.052m
	P.K. de VAV:	1+560.36	Elevación:	1,952.606m
	P.K. de PTV:	1+635.36	Elevación:	1,954.789m

	Punto bajo:	1+510.81	Elevación:	1,952.976m
	Inclinación de rasante		Inclinación de rasante	
	T.E.:	-0.59%	T.S.:	2.91%
	Cambiar:	3.51%	K:	42.77546539
	Longitud de curva:	150.000m		
	Distancia de iluminación:	262.893m		
5	2+259.75	-2.00%	150.000m	
	Información de acuerdo vertical: (acuerdo convexo)			
	P.K. de PAV:	2+184.75	Elevación:	1,970.786m
	P.K. de VAV:	2+259.75	Elevación:	1,972.970m
	P.K. de PTV:	2+334.75	Elevación:	1,971.470m
	Punto alto:	2+273.67	Elevación:	1,972.081m
	Inclinación de rasante		Inclinación de rasante	
	T.E.:	2.91%	T.S.:	-2.00%
	Cambiar:	4.91%	K:	30.53931271
	Longitud de curva:	150.000m		
	Distancia de adelantamiento:	389.832m	Distancia de parada:	210.304m
6	2+721.47	5.02%	150.000m	
	Información de acuerdo vertical: (acuerdo cóncavo)			
	P.K. de PAV:	2+646.47	Elevación:	1,965.235m
	P.K. de VAV:	2+721.47	Elevación:	1,963.735m
	P.K. de PTV:	2+796.47	Elevación:	1,967.503m
	Punto bajo:	2+689.18	Elevación:	1,964.808m
	Inclinación de rasante		Inclinación de rasante	
	T.E.:	-2.00%	T.S.:	5.02%
	Cambiar:	7.02%	K:	21.35665652
	Longitud de curva:	150.000m		
	Distancia de iluminación:	136.939m		
7	2+967.41	-5.81%	150.000m	
	Información de acuerdo vertical: (acuerdo convexo)			
	P.K. de PAV:	2+892.41	Elevación:	1,972.322m
	P.K. de VAV:	2+967.41	Elevación:	1,976.090m
	P.K. de PTV:	3+042.41	Elevación:	1,971.732m
	Punto alto:	2+961.96	Elevación:	1,974.069m
	Inclinación de rasante		Inclinación de rasante	
	T.E.:	5.02%	T.S.:	-5.81%
	Cambiar:	10.83%	K:	13.84497608
	Longitud de curva:	150.000m		
	Distancia de adelantamiento:	217.729m	Distancia de parada:	135.654m
8	3+430.00	1.39%	150.000m	
	Información de acuerdo vertical: (acuerdo cóncavo)			
	P.K. de PAV:	3+355.00	Elevación:	1,953.568m

	P.K. de VAV:	3+430.00	Elevación:	1,949.210m
	P.K. de PTV:	3+505.00	Elevación:	1,950.250m
	Punto bajo:	3+476.10	Elevación:	1,950.050m
	Inclinación de rasante		Inclinación de rasante	
	T.E.:	-5.81%	T.S.:	1.39%
	Cambiar:	7.20%	K:	20.84136774
	Longitud de curva:	150.000m		
	Distancia de iluminación:	134.664m		
9	3+847.10	-3.85%	150.000m	
	Información de acuerdo vertical: (acuerdo convexo)			
	P.K. de PAV:	3+772.10	Elevación:	1,953.954m
	P.K. de VAV:	3+847.10	Elevación:	1,954.993m
	P.K. de PTV:	3+922.10	Elevación:	1,952.103m
	Punto alto:	3+811.79	Elevación:	1,954.229m
	Inclinación de rasante		Inclinación de rasante	
	T.E.:	1.39%	T.S.:	-3.85%
	Cambiar:	5.24%	K:	28.62057806
	Longitud de curva:	150.000m		
	Distancia de adelantamiento:	370.052m	Distancia de parada:	201.803m
10	4+378.16	1.73%	150.000m	
	Información de acuerdo vertical: (acuerdo cóncavo)			
	P.K. de PAV:	4+303.16	Elevación:	1,937.415m
	P.K. de VAV:	4+378.16	Elevación:	1,934.524m
	P.K. de PTV:	4+453.16	Elevación:	1,935.824m
	Punto bajo:	4+406.64	Elevación:	1,935.421m
	Inclinación de rasante		Inclinación de rasante	
	T.E.:	-3.85%	T.S.:	1.73%
	Cambiar:	5.59%	K:	26.84481639
	Longitud de curva:	150.000m		
	Distancia de iluminación:	161.127m		
11	5+580.74	-1.03%	150.000m	
	Información de acuerdo vertical: (acuerdo convexo)			
	P.K. de PAV:	5+505.74	Elevación:	1,954.067m
	P.K. de VAV:	5+580.74	Elevación:	1,955.367m
	P.K. de PTV:	5+655.74	Elevación:	1,954.593m
	Punto alto:	5+599.75	Elevación:	1,954.882m
	Inclinación de rasante		Inclinación de rasante	
	T.E.:	1.73%	T.S.:	-1.03%
	Cambiar:	2.77%	K:	54.24095425
	Longitud de curva:	150.000m		
	Distancia de adelantamiento:	634.174m	Distancia de parada:	315.315m
12	5+911.55	-2.15%	150.000m	

Información de acuerdo vertical: (acuerdo convexo)			
P.K. de PAV:	5+836.55	Elevación:	1,952.727m
P.K. de VAV:	5+911.55	Elevación:	1,951.953m
P.K. de PTV:	5+986.55	Elevación:	1,950.340m
Punto alto:	5+836.55	Elevación:	1,952.727m
Inclinación de rasante		Inclinación de rasante	
T.E.:	-1.03%	T.S.:	-2.15%
Cambiar:	1.12%	K:	134.2222842
Longitud de curva:	150.000m		
Distancia de adelantamiento:	1,458.709m	Distancia de parada:	669.672m

2.2.1.5.11. Parámetros para el diseño

Los argumentos y motivos de la adopción de los valores mostrados en los cuadros están plenamente justificados en el capítulo 2 del presente documento.

Cuadro 13: Resumen de parámetros

Características	Parámetros	Unidades
Categoría de la camino	Desarrollo	-
Calzada	6.0	m
Carril	3.00	m
Topografía	Terreno Ondulado	-
Velocidad de proyecto	40.0	Km/h
Peralte máximo	7.0	%
Bombeo	3	%
Radio mínimo	50	m
Pendiente máxima en rectas	9	%
Distancia Mínima de visibilidad de frenado	38	m
Distancia mínima de adelantamiento	240	m
Valores en Kv en curvas convexo	400	-
Valores en Kc en curvas cóncavas	500	-
Coeficiente de fricción transversal	0.198	

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.6. Volúmenes de movimiento de tierra.

2.2.1.6.1. Determinación de los volúmenes de movimiento de tierra

El cálculo de volúmenes se obtiene a partir de las áreas, existen varios métodos los más utilizados son el método de la semisuma o áreas medias y la de Simpson o prismoide que es adoptada por programas computarizados

Método Prismoidal:

$$V = \frac{d}{6} * (A_1 + A_2 + A_m * 4)$$

Método de las áreas medias:

Casos particulares

Volumen “corte – corte”

$$V_c = \frac{(A_{c1} + A_{c2}) * L}{2}$$

Volumen “relleno – relleno”

$$V_r = \frac{(A_{r1} + A_{r2}) * L}{2}$$

Volumen “relleno – corte”

$$V_c = \frac{A_c^2 * L}{2 * (A_r + A_c)}$$

$$V_r = \frac{A_r^2 * L}{2 * (A_r + A_c)}$$

Donde:

A_c = Área de corte (m^2)

A_r = Área de relleno (m^2)

L = Longitud entre progresivas (m)

Secciones Mixtas

Caso “corte o relleno”

$$S = \frac{(a_1 + a_2)^2}{2}$$

$$e = \frac{1}{3 * A} * (A + S) * (\pm dd \pm di)$$

Caso “mixtas”

$$e = \frac{1}{3} * \pm x \pm a + d$$

Coefficiente de curvatura

$$Cc = \frac{L}{2 * R} * (A_1 e_1 + A_2 e_2)$$

Volumen curva

$$V_{curva} = V_{recta} \pm Cc$$

Donde:

Dd= Distancia del eje al borde derecho (m).

Di= Distancia del eje al borde izquierdo (m).

S= Área de Relleno sobre la Calzada (m²).

X= longitud del eje a la intersección de la calzada con el terreno (m).

A= Longitud del carril (m).

R= Radio de Curvatura (m).

Los volúmenes de movimiento de tierra, tanto en corte como en relleno son obtenidos luego del trazado de la subrasante, nos indica las cantidades de volúmenes que llegamos a tener en el proyecto, con el cual también determinamos la curva masa.

Cuadro 14: Resumen de volúmenes de movimiento de tierra.

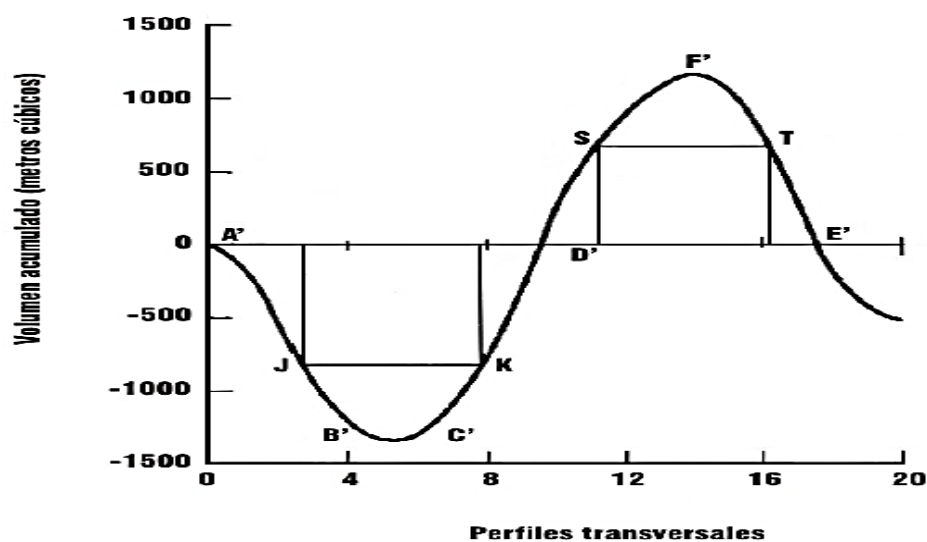
Volumen de corte acumulado (m³)	Volumen de relleno acumulado (m³)	Volumen de sobre acarreo (m³)
26919.46	10055.71	16863.75

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.6.2. Diagrama curva masa

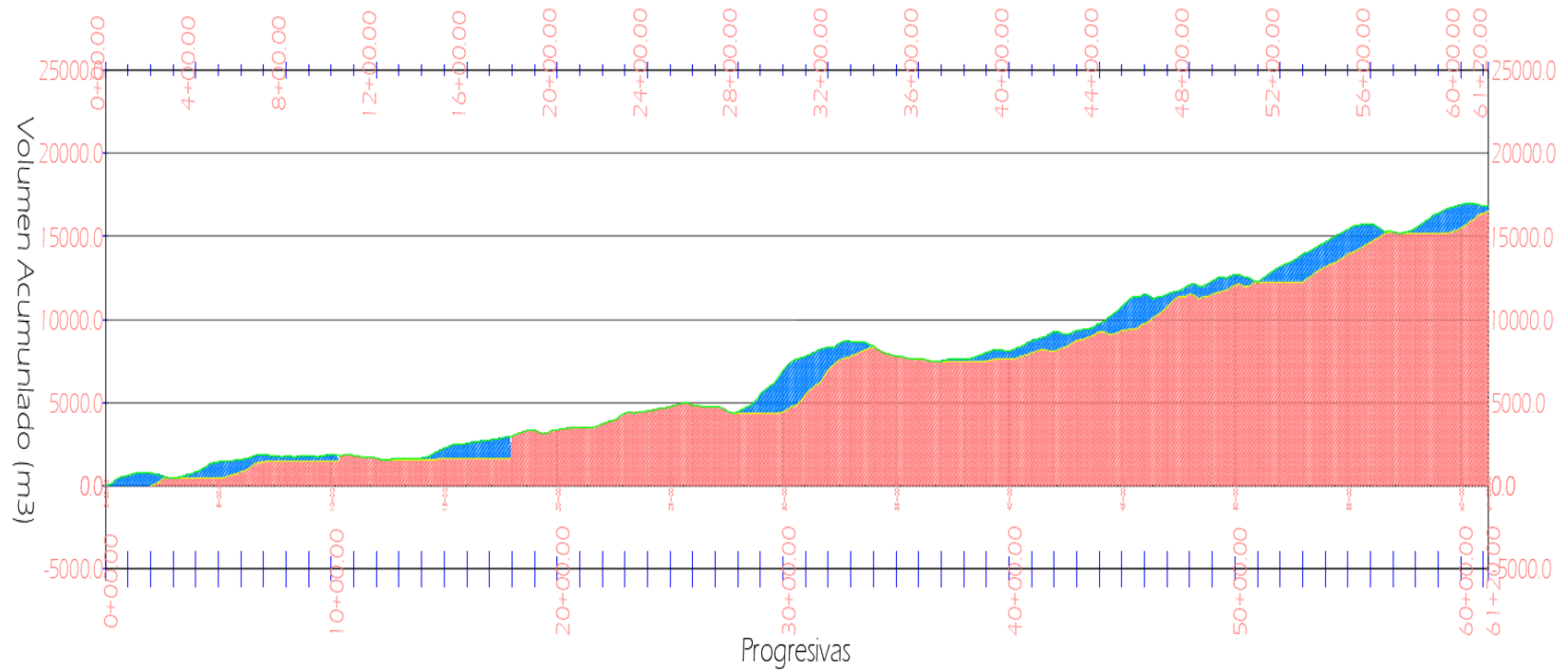
El diagrama de la curva masa es una serie de líneas unidas que describen la acumulación neta de corte o de relleno, entre dos perfiles transversales cualesquiera. La ordenada del diagrama de la curva masa es la acumulación neta en m³ desde un punto inicial arbitrario. Entonces, la diferencia de ordenadas entre dos perfiles transversales cuales quiera representa la acumulación neta de corte y relleno entre estos perfiles transversales. Si se considera que el primer perfil transversal del camino es el punto inicial, entonces la acumulación neta en este perfil transversal es cero.

Figura 6: Diagrama de curva masa.



Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

DIAGRAMA DE MOVIMIENTO DE TIERRA



2.2.2. Diseño estructural

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

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

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

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

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

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

Las alternativas de diseño estructural son los siguientes:

1.- Diseño de camino con pavimento flexible método AASTHO

2.2.2.1. El periodo de diseño.

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

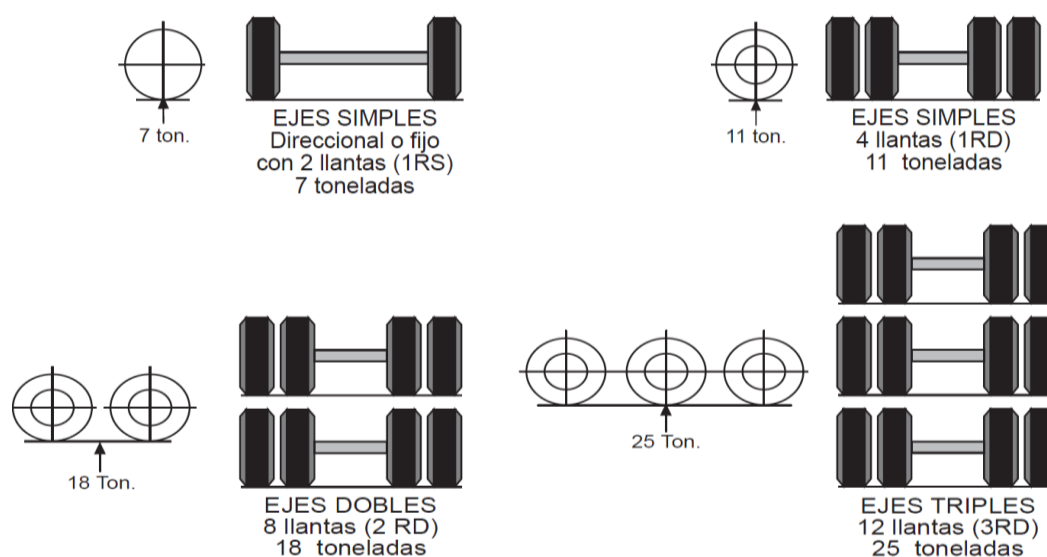
La vida útil del pavimento, es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad.

Tabla 10: Periodo de diseño

Tipo de camino	Periodo de análisis
Gran volumen de tránsito urbano	30-50 años
Gran volumen de tránsito rural	20-50 años
Bajo volumen pavimentado	15-25 años

Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93) del IBH

2.2.2.2. Ejes equivalentes

Figura 7: Límites de pesos permitidos por ejes (tn)

Fuente: D.S. N° 25629 Ley de cargas

2.2.2.2.1. Carga por eje

En este caso no se dispone de información del espectro de cargas vehicular, pero si tenemos la actividad de censos de carga que permite determinar los pesos promedio ponderados de acuerdo a la frecuencia de distribución de pesos.

Tabla 11: Estaciones para la muestra de los pesos promedio. Años 2015 – 2016

Departamento	Carretera	Estación
La Paz	La Paz - Yungas	Unduavi
Tarija	Padcaya - Bermejo	La Mamora

Fuente: Datos de pesajes estaciones Ckochis, Mamoré, Unduavi, Achacachi (2015-2016)

Tabla 12: Pesos promedio por eje y tipo de vehículo

	TIPO VEHICULO	CONFIG. EJES	UNIDAD	PESOS POR EJE (Kg)			
				EJE DELANTERO	1° EJE TRASERO	2do EJE TRASERO	3er EJE TRASERO
1	AUTOMOVIL, VAGONETA	11	Kg %	1,365 50.6%	1,333 49.4%		
2	CAMIONETA	11	Kg %	1,818 50.0%	1,818 50.0%		
3	MINIBUS	11	Kg %	1,625 50.0%	1,625 50.0%		
4	MICROBUS	11	Kg %	2,420 43.5%	3,140 56.5%		
5	BUS MEDIANO	11	Kg %	4,027 39.0%	6,303 61.0%		
6	BUS GRANDE 2 EJES	11	Kg %	5,128 40.2%	7,643 59.8%		
7	BUS GRANDE 3 EJES	12	Kg %	7,125 39.5%	10,895 60.5%		
8	CAMION MEDIANO	11	Kg %	3,668 36.0%	6,529 64.0%		
9	C2 CAM. GRANDE 2 EJES	11	Kg %	5,101 34.9%	9,527 65.1%		
10	C3 CAM GRDE 3 EJES (TRASERO TANDEM)	12	Kg %	6,947 31.6%	15,028 68.4%		
11	C.SEMIREMOLQ. EJE2_TANDEM, EJE3_TANDEM	122	Kg %	6,125 17.0%	15,000 41.7%	14,875 41.3%	
12	C.SEMIREMOLQ. EJE2_TANDEM, EJE3_TRIDEM	123	Kg %	6,576 13.5%	16,461 33.9%	25,500 52.5%	
13	C.SEMIREMOLQ. EJE2_SIMPLE, EJE3_TRIDEM	113	Kg %	6,142 12.9%	11,619 24.4%	29,928 62.8%	
14	T-S CAMION C.SEMIREMOL (ULTIMO EJE TRASERO TANDEM)	112	Kg %	6,166 17.9%	10,333 30.0%	18,000 52.2%	
15	C-R CAMION C_REMOLQUE	1211	Kg %	6,420 15.5%	16,700 40.4%	9,260 22.4%	8,940 21.6%
16	C-R CAMION C_REMOLQUE	1112	Kg %	5,975 12.1%	10,150 20.5%	11,500 23.2%	21,900 44.2%
TOTAL MUESTRA =							

Fuente: Datos de pesajes estaciones Ckochis, Mamoré, Unduavi, Achacachi.(2015-2016)

Nota: Debo mencionar que para los automóviles, camionetas jeep – vagoneta, minibús, microbuses, buses medianos, buses grandes se usó los datos promedios antes mencionados, y para los camiones pequeños, camiones medianos, camiones grandes se usó la carga máxima por eje, para una mayor seguridad, suponiendo que estarán cargados a su máxima capacidad.

Cuadro 15: Determinación de los factores “LEF” y el factor de camión “TF”

Ítem	Ejes	Automóviles		Camionetas		Jeep - Vag.		Minibús		Microbuses		Buses medianos		Buses grandes		Camiones pequeños		Camiones medianos		Camiones grandes		Camiones c/acoplado		Otros		
		Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	
Configuración de ejes	Eje delantero	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		
	1er eje trasero	1		1		1		1		1		1		2		1		1		2		2		2		
	2do eje trasero	0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		3		
	3er eje trasero	0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		
Unidades		Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	Ton.	kips	
Carga por eje	Eje delantero	1,4	3,0	1,4	3,0	1,8	4,0	1,6	3,6	2,4	5,3	4,0	8,9	5,1	11,3	7,0	15,4	7,0	15,4	7,0	15,4	7,0	15,4	1,0	2,2	
	1er eje trasero	1,3	2,9	1,3	2,9	1,8	4,0	1,6	3,6	3,1	6,9	6,3	13,9	7,6	16,8	7,0	15,4	11,0	24,3	18,0	39,7	18,0	39,7	2,0	4,4	
	2do eje trasero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	55,1	0	0
	3er eje trasero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NE = 2 plg (76,2 mm)		Pt = 2,0 (para carreteras de bajo volumen)																								
Factor equivalente de carga LEF	Eje delantero	0,00160		0,00160		0,00300		0,00244		0,00885		0,05750		0,14480		0,52000		0,52000		0,52000		0,52000		0,00048		
	1er eje trasero	0,00146		0,00146		0,00300		0,00244		0,02235		0,32995		0,05960		0,52000		3,25250		2,12400		2,12400		0,00480		
	2do eje trasero	0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		1,81950		0		
	3er eje trasero	0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		
Factor camión (TF) =		0,0031		0,0031		0,0060		0,0049		0,0312		0,3875		0,2044		1,0400		3,7725		2,6440		4,4635		0,0053		

Fuente: Elaboración propia

Nota: Se trabajó con un número estructural (SN) de 2 plg o 76,2 mm para un serviciabilidad final (Pt) de 2,0.

Cuadro 16: Cálculo de ESALs para un periodo de diseño de 20 años

	Automóviles	Camionetas	Jeep - Vag.	Minibús	Microbuses	Buses medianos	Buses grandes	Camiones pequeños	Camiones medianos	Camiones grandes	Camiones c/acoplado	Otros
Proyección del TPDA (tráfico total normal + generado) (veh/día).	5318	664	755	854	834	226	0	154	0	73	0	0
Total vehículo del periodo (1 año = 365 días)	1941070	242360	275575	311710.0	304410.0	82490.0	0.00	56210.00	0.00	26645.00	0.00	0.00
Factor de camión	0.00306	0.00306	0.006	0.00488	0.0312	0.38745	0.2044	1.04	3.7725	2.644	4.4635	0.00528
ESALs	5939.674	741.622	1653.4	1521.145	9497.592	31960.7	0.000	58458.40	0.000	70449.38	0.000	0.000
Total ESALs (20 años) (50%)	90111.01											

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 17: Cálculo de ESALs para un periodo de diseño de 12 años, para pavimento flexible

	Automóviles	Camionetas	Jeep - Vag.	Mini bus	Micro buses	Buses medianos	Buses grandes	Camiones pequeños	Camiones medianos	Camiones grandes	Camiones c/acoplado	Otros
Proyección del TPDA (tráfico total normal + generado) (veh/día).	1957	245	277	314	332	91	0	63	0	28	0	0
Total vehículo del periodo (1 año = 365 días)	714305.0	89425.00	10110	114610.0	121180.0	33215.0	0.00	22995.00	0.00	10220.00	0.00	0.00
Factor de camión	0.00306	0.00306	0.006	0.00488	0.0312	0.38745	0.2044	1.04	3.7725	2.644	4.4635	0.00528
ESALs	2185.773	273.641	606.6	559.297	3780.816	12869.1	0.000	23914.80	0.000	27021.68	0.000	0.000
Total ESALs (12 años) (50%)	35605.89											

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.3. Calculo del pavimento flexible

Para el diseño de espesores de capa de las dos alternativas, tanto para carpeta asfáltica, como tratamiento superficial triple, se trabajó con un $CBR_{diseño}$.

2.2.2.3.1. Selección del percentil de CBR

La siguiente tabla se encuentra en el libro de Ingeniería de pavimentos para carreteras – Ing. Alfonso Montejo Fonseca, (W18 = 90111.0 para 20 años de diseño)

Tabla Nro. 1: Determinación del valor resistencia de diseño propuesto por el Instituto del Asfalto

Tabla 13: Límites para selección de resistencia

Número de ejes de 8,2 toneladas en el carril de diseño (N)	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
<10.000	60
10.000 – 1.000.000	75
>1.000.000	87,5

Fuente: Ingeniería de pavimentos para carreteras – Ing. Alfonso Montejo Fonseca

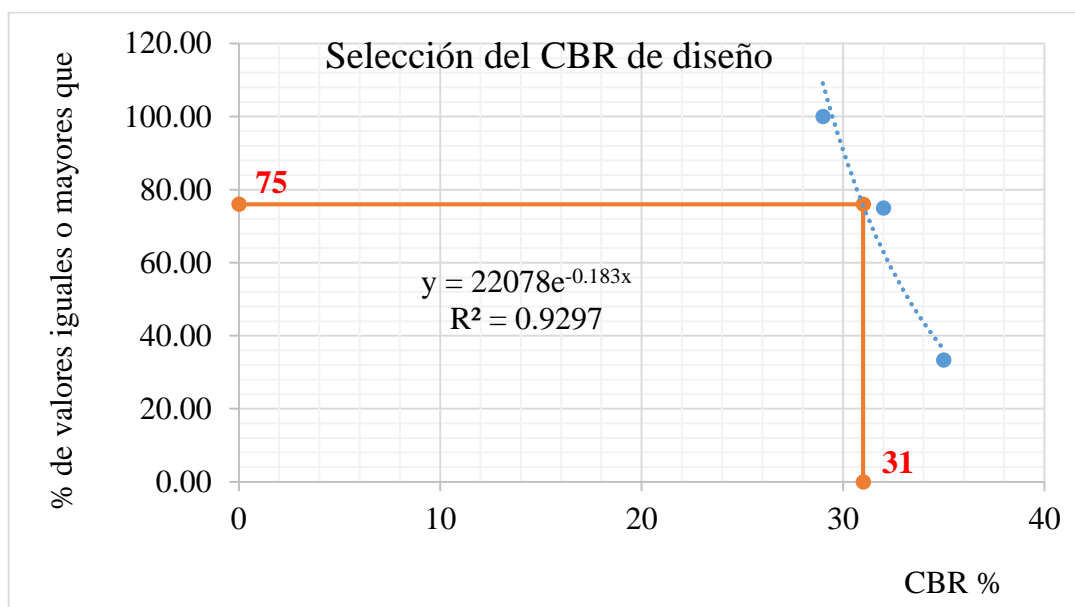
Cuadro 18: Procesamiento de datos para el percentil

CBR0 (%)	Número de ensayos	Número de valores iguales o mayores	% de valores iguales o mayores
29	3	12	100,00
32	5	9	75,00
35	4	4	33,33
Total	12	-	-

Fuente: Elaboración propia

Gráfica de CBR vs % de valores iguales o mayores

A mi criterio y revisando la línea de tendencia que más se ajusta a los puntos de CBR, elegí la ecuación exponencial, lo cual indica gráficamente que para un percentil del 75 se tiene un CBR de diseño de 20%.

Figura 8: Grafica de CBR vs % de valores iguales o mayores

Fuente: Elaboración propia

Nota: A un percentil del 75 %, obtenemos un $CBR_{\text{diseño}}$ de 31 %.

2.2.2.3.2. CBR de diseño

Se obtuvo los mismos CBR de diseño para las tres formas de obtención de CBR por percentil (por la función percentil en Excel, por la ecuación de la línea de tendencia exponencial y gráficamente).

Tabla 14: CBR de diseño

Percentil (%)	CBR de diseño (%) por función percentil	CBR de diseño (%) obtenida gráficamente
75	31	31

Fuente: Elaboración propia

El CBR de diseño para el número de ejes equivalentes es $W18 = 90111.0$ para 20 años de diseño)

$$CBR_{\text{diseño}} = 31,0 \%$$

2.2.2.4. Módulo resiliente

Para el módulo resiliente calculamos con las dos siguientes formulas (en negrita), que son las más usadas en nuestro medio, y las demás fórmulas nos dan valores similares.

2.2.2.4.1. Módulo de resiliencia del material de subrasante (M_R)

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

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

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

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

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

$$M_R = 3000 * CBR^{0,65} \text{ (Psi)}$$

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

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

Con un CBR de 31%

$$MR = 43000$$

2.2.2.4.2. Diseño de espesores

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

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

$$40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}$$

Donde:

W18 = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80 KN) calculadas

conforme al tránsito vehicular.

Z_R = Es el valor de Z correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R

S_o = Desviación estándar de todas las variables

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad

M_R = Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN = Número Estructural.

2.2.2.4.3. Confiabilidad

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

Tabla 15: Niveles de confiabilidad

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectores	80 – 95	75 – 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93) del IBH

Tabla 16: Valores de Z_r en la curva normal para diversos grados de confiabilidad

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

Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO – 93) del IBH

2.2.2.4.4. Desviación estándar global S_o

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

$S_o = 0,35$ para pavimentos rígidos

$S_o = 0,49$ para pavimentos flexibles.

2.2.2.4.5. Criterios para determinar la serviciabilidad

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

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

Serviciabilidad inicial

$P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos.

$P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles.

Serviciabilidad final

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

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

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

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

2.2.2.5. Calculo de espesores por capas

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

Concreto asfáltico

$$a_1 = 0.40 * \log \frac{E_{CA}}{435\text{ksi}} + 0.44$$

$$0.20 \leq a_1 \leq 0.44$$

$$\Delta K_{si} = 435 \quad \text{a } 68^\circ\text{F}$$

$$\text{Coeficiente } a_1 = 0.440$$

Base granular

$$a_2 = 0.40 * \log \frac{E_B}{23\text{ksi}} + 0.11$$

$$0.06 \leq a_2 \leq 0.20$$

$$\Delta K_{si} = 28$$

$$\text{Coeficiente } a_2 = 0.131$$

Sub base granular

$$a_3 = 0.23 * \log \frac{E_{SB}}{23\text{ksi}} + 0.15$$

$$0.06 \leq a_3 \leq 0.20$$

$$\Delta K_{si} = 14$$

$$\text{Coeficiente } a_3 = 0.100$$

$$\text{SN} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Dónde:

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

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

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

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

Parámetros de diseño

Serviciabilidad inicial (P_o) = 4,2 Para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final (P_t) = 2,0 Para vías rurales

Confiabilidad (R) = 80 % (50 % a 80 % por tipo de camino)

Desviación estándar (S_o) = 0,49 Pavimento flexible con errores de tránsito

Numero de ejes equivalentes ESALs = 90111.0 (20 años, para el $CBR_{diseño}$)

Numero de ejes equivalentes ESALs = 35605.9 (12 años, para concreto asfáltico)

Numero estructural asumido = 2 plg (pedido por el SE.DE.CA.)

Z_R = -0,841 para una confiabilidad del 80 %

$\Delta PSI = P_o - P_t = 4,2 - 2,0 = 2,2$

$M_R = 16.650,98$ psi o 114,80 Mpa, para un $CBR_{diseño} = 20$ %

$M_R = 7.500,0$ psi o 51,50 Mpa, para un $CBR = 5$ %

Cuadro 19: Procedimiento para determinar espesores mínimos de capas.

Capa	Módulo elástico		Coeficiente estructural a_i
	(psi)	(kPa)	
Concreto asfáltico	400.000	275.790,29	0,44
Base CBR 80%	27.926,73	192.548,025	0,13
Subbase CBR 60%	17.875,57	12.0247,716	0,10

Fuente: Elaboración propia

Coeficiente de drenaje

El efecto de la humedad y el drenaje es directamente considerado en términos de su incidencia en la resistencia de las capas sub rasante, sub base y base del pavimento, mediante la inclusión de coeficientes que modifican el aporte estructural de cada capa. Las siguientes tablas dan referencias del drenaje en función del tiempo y porcentaje de saturación para elegir el coeficiente de drenaje.

Tabla 17: Selección de los coeficientes de drenaje

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos de 1%	1 - 5%	5 – 25%	Más de 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	1.15-1.10	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy Pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93

Los coeficientes de drenaje sólo son aplicables a las capas base y sub-base no tratadas. El posible efecto del drenaje en la superficie de una pista de concreto asfáltico y en cualquier otra capa estabilizada no se considera, es decir que se adopta un valor

$$m_1 = 1 ; m_2 = m_3 = 0,6$$

Valor que afectara a la capa base como a la subbase porque los materiales serán del mismo yacimiento y tendrá similar granulometría.

Resultados de espesores de concreto asfáltico

De acuerdo a la aplicación de fórmulas, parámetros, en resumen, se tiene los siguientes resultados detallados.

Cuadro 20: Parámetros de diseño

Capa	W18	Er ó Mr(Kpa)	mi	ai	Zr	So	ΔPSI
Concreto asfáltico	90111.0	400.000	1	0,4	-0,841	0,49	2,20
Base	90111.0	27.926,73	0,6	0,13	-0,841	0,49	2,20
Subbase	90111.0	17.875,57	0,6	0,10	-0,841	0,49	2,20

Fuente: Elaboración propia

Calculo de espesor con Software de pavimentos

PAVIMENTO FLEXIBLE

ESAL DISEÑO [ver tabla](#)

Total de ejes Equivalentes (W18)

Factor de Distribución Direccional (Fd)

Factor Camil (Fc)

ESAL diseño

Parámetros

Periodo de Diseño (n)

Confiabilidad Zr -0.841

Serviciabilidad

PSI Inicial

PSI Final

Desv. Estandar

MATERIALES

SUELO **MODULO DE RESILENCIA**

CBR % subras Mr Subras Ksi

MATERIAL PRESTAMO

CBR % base Mr base Ksi

CBR % sub b Mr Sub b Ksi

COEF. ESTRUCTURALES Y DRENAJE

COEF. ESTRUCTURALES

Carp. asf (a1) **COEF. DE DRENAJE m2 y m3**

Base (a2) Base m2

SubBase (a3) SubBase m3

Número Estruct. Req (SN)

SN req

DIMENSIONAMIENTO

D1 cm Carp. Asfalt. D2 cm BASE D3 cm SUBBASE

SNres 1.32 > SN req 1.32

$$SN = 1.4 \leq 2 \text{ OK}$$

Cuadro 21: Espesores del pavimento con concreto asfáltico

Concreto asfáltico (ca)	4cm
Capa base	9cm
Capa subbase	15cm

Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Diseño hidráulico

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

2.2.3.1. Cunetas

Por ser obras de canalización y evacuación de aguas producidas por precipitación, las cunetas que se diseñan no serán en todo el tramo sino en lugares estratégicos donde sea insuficiente el escurrimiento propio por gravedad a los bordes del terreno.

Tabla 18: Coeficiente de Manning cunetas

Materiales	N
Hormigón	0.013 – 0.017
Metal corrugado	
Ondulaciones estándar (68mm x13mm) 25% revestido	0.024 0.021
Totalmente revestido	0.012
Ondulaciones medias (76mx25mm) 25% revestidas	0.027 0.023
totalmente revestidas	0.012
Ondulaciones grandes (152mm x51mm) 25%revestidos	0.026
totalmente revestidos	0.012

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

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

$$i_{24} = \frac{P_d}{24}$$

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

Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración que se utilizará para cálculo hidráulico de las cunetas y las alcantarillas de alivio será según la norma ABC:

$$t = 0,130 \text{ h}$$

Cuadro 22: hdT para alcantarillas.

Periodo de retorno (años)	h _{dt} (mm)
10	758.46 (para cunetas)

Fuente: Elaboración propia.

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

Intensidad máxima de la cuenca

Para este cálculo se precisa saber algunos parámetros característicos de la cuenca, como para este caso el tiempo de concentración. Las siguientes formulas empíricas serán las que nos aproximen a este valor.

Cuadro 23: Intensidad máxima para alcantarillas.

Periodo de retorno T	Tiempo de concentración (h)	Intensidad horaria i ₂₄ (mm/h)	Intensidad de diseño (mm/h)
10	0,130	31.603	430.16

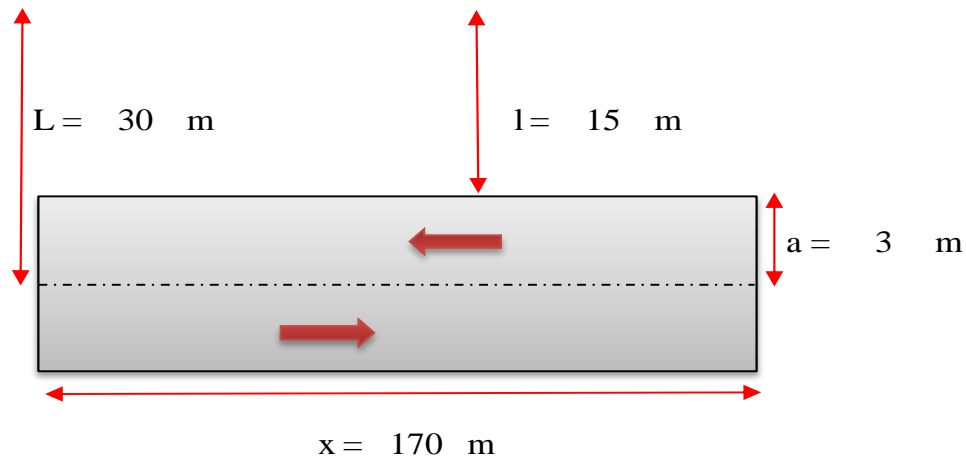
Fuente: Elaboración propia.

Diseño de cunetas.

Progresiva: 0+000 - 0+170 Lados: Izq.

Datos:

a =	3.00	Ancho de carril (m).
C ₁ =	0.95	Coefficiente de escorrentia de la calzada.
C ₂ =	0.40	Coefficiente de escorrentia del terreno.
I =	430.16	Intensidad de la lluvia (mm/h)
n =	0.015	Coefficiente de Manning cunetas revestidas de H° 0,013-0,017.
S =	0.0020	Pendiente de la cuneta (m/m).
L =	30.00	Derecho de via (m).



Cálculo del area de calzada: $A_1 = 510.00 \text{ m}^2$

Cálculo del area del terreno natural: $A_2 = 2550.00 \text{ m}^2$

Cálculo del coeficiente de escorrentia ponderada: $C_{pd} = 0.49$

$$C_{ponderado} = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2}$$

Cálculo de caudal máximo: $Q = 0.18 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q =$ Caudal maximo (m^3/s).

$I =$ Intensidad maxima (mm/h).

$A =$ Area de calzada mas terreno (km^2).

$C =$ Coeficiente de escorrentía (adim).

Formula racional:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3,6}$$

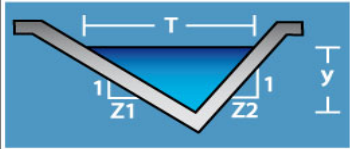
Calculo de Tirante con Software H CANALES

Calculo de tirante normal secciones: trapezoidal y triangular con taludes diferentes Z1 y Z2

Lugar: Proyecto:
 Tramo: Revestimiento:

Datos:

Caudal (Q): m³/s
 Ancho de solera (b): m
 Talud 1 (Z1):
 Talud 2 (Z2):
 Rugosidad (n):
 Pendiente (S): m/m



Resultados:

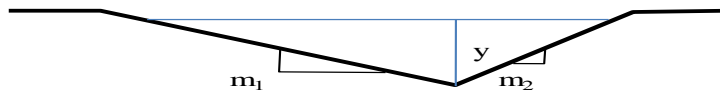
Tirante normal (y): m Perímetro (p): m
 Área hidráulica (A): m² Radio hidráulico (R): m
 Espejo de agua (T): m Velocidad (v): m/s
 Número de Froude (F): Energía específica (E): m-Kg/Kg
 Tipo de flujo:

Calculador Limpia Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora Reporte

Ingresar el valor del talud 2 (Z2) 05:28 a. m. 30/11/2018

Cálculo del tirante normal de la sección triangular de la cuneta.

Q = 0.180 m³/s
 y = 0.37440 Tirante normal (m).
 n = 0.015 Coeficiente de rugosidad.
 s = 0.0020 Pendiente longitudinal.
 m₁ = 2:1 H:V Talud 1 sección triangular. 1
 m₂ = 1:1 H:V Talud 2 sección triangular. 2
 T = 1.50 Espejo de agua (m).



Área mojada:

$$A = \left(\frac{m_1 + m_2}{2} \right) \cdot y^2 \quad A = 0.21 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado:

$$P = \left(\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2} \right) \cdot y \quad P = 1.37 \text{ m}$$

Radio hidráulico:

$$R_h = \frac{A}{P} \quad R_h = 0.15 \text{ m}$$

Cálculo del tirante normal en función del caudal, según Manning.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad Q = 0.1800 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ok!}$$

Iterando: $y = 0.37 \text{ m}$

Bordo libre: $BL = 0.12 \text{ m}$ $y_t = 0.50 \text{ m}$

$$BL = \frac{1}{3} \cdot y \quad y_t = y + BL$$

2.2.3.2. Contra cunetas

El diseño en sí es similar al de la cuneta con las siguientes modificaciones:

a) En la determinación del caudal se tendrá un coeficiente de escorrentía único. El área de aporte está limitada por el área de la cuenca dada de los puntos más altos que van en dirección de la carretera y la separación de obras de desagüe de las contra cunetas, generalmente lavaderos o bajantes.

b) Para la dimensión de la sección de la contra cuneta se utilizará también la ecuación de Manning, pero como son obras realizadas en forma más rústica y sin maquinaria se recomienda la utilización de las secciones rectangulares o trapezoides

2.2.3.3. Diseño de alcantarillas de alivio

Para el diseño de alcantarillas de alivio se tomó en cuenta su ubicación debido a que ello nos permitirá conocer el caudal proveniente de las cunetas que evacuará. Como las alcantarillas reciben caudal de un solo lado de la cuneta el caudal que evacuaran es igual a $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$, se determinó también los siguientes aspectos: material de las alcantarillas de alivio de metal corrugado ($n = 0,024$), pendiente longitudinal de la alcantarilla de alivio del 1 % ($S = 0,01$) y tirante igual al 60 % del diámetro.

$$D = 0,80 \text{ m}$$

Cuadro 24: Alcantarilla de alivio, chapa metálica sección circular.

Periodo de retorno en años	Tiempo de concentracion (hr)	Intensidad horaria	Intensidad de diseño
50	0.80	38.15	207.81

Fuente: Elaboracion propia

$$CU = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$$

$$CU = 1.05196204$$

Si i está en mm/h y A en Km^2 entonces Q en m^3/s . Viene dado por:

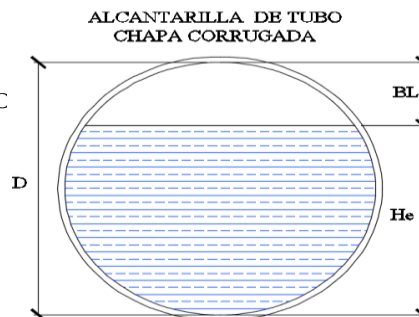
$$Q = CU * \frac{C * i * A}{3.6}$$

$$Q = 18.217 \quad m^3/s$$

Alcantarilla de chapa metálica sección circular

Datos :

Q =	18.217	m ³ /s
n =	0.024	tub. metálica ARMCC
S =	1.00%	0,001 m/m
R =	Radio Hidráulico	
A =	Área Hidráulica	
BL =	0.4 D	m
D =	0.437	m iterando



Fórmula de Manning

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

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

$$0,20 = \frac{\left[\left(\frac{\pi * D^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi * D^2}{4 * 180} \cos^{-1}(1 - 0.8D) \right) + (0.5D - 0.4D^2)^2 * \tan(\cos^{-1}(1 - 0.8D)) \right]^{\frac{5}{3}} * \frac{0,012^{\frac{1}{2}}}{0,024}}{\left[\left(\pi - \frac{\pi}{180} \cos^{-1}(1 - 0.8D) \right) * D \right]^{\frac{2}{3}}}$$

Iterando :

$$D = 0.437 \text{ m.}$$

$$D \text{ (adop.)} = 0.80 \text{ m. seguridad}$$

Nota: Se tomó el área del primer tramo de aporte del diseño, y se calculó el diámetro de la tubería de ARMCO, el cual es de 0,80m,

Cuadro 25: Diámetro de alcantarillas de alivio.

Nro.	Progresiva	Tipo de obra	Longitud (m)	Diámetro (m)
1	0+170	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
2	0+290	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
3	0+460	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
4	0+721.55	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
5	0+952.40	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
6	1+143.79	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
7	1+388	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
8	1+598	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
9	1+888	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
10	2+323	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
11	2+743	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
12	4+170	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
13	4+515	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
14	4+980	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
15	5+148	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
16	5+280	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
17	5+448	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
18	5+448.20	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80
19	6+294	Alcantarilla de alivio	12,00	0,80

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3.4. Diseño de alcantarillas de cruce

Las alcantarillas de cruce fueron diseñadas al igual que las alcantarillas de alivio, por su ubicación, pero tomando en cuenta la afluencia de riachuelos, quebradas y pequeños ríos. Cabe recalcar que solo existe una sola alcantarilla de cruce en todo el tramo, debido a que nuestro camino se está paralelamente posicionada a una quebrada.

A continuación, se presenta la siguiente tabla donde se detalla la ubicación, el tipo de obra y su longitud de la única alcantarilla de cruce que existe.

Tabla 19: Intensidad para alcantarilla de cruce.

Periodo de retorno T	hdt (mm)	Intensidad horaria i_{24} (mm/h)	Intensidad de diseño (mm/h)
20	139,74	5,823	52,77

Fuente: Elaboración propia.

Formula racional.

El método de la formula racional, nos permitió hacer estimaciones de los caudales máximos de escorrentía usando las intensidades máximas de precipitación.

Si i está en mm/h y A en km^2 entonces Q en m^3/s . viene dado por:

$$Q = \frac{C * i * A}{3,6}$$

$$Q = 1,721 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cuadro 26: Alcantarilla de cruce, chapa metálica sección circular.

Periodo de Retorno T en años	Tiempo de Concentración (horas)	Intensidad horaria i_{24} (mm/h)	Intensidad de Diseño (mm/h)
50	0.455	38.155	277.12

$$CU = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$$

$$CU = 1.025996205$$

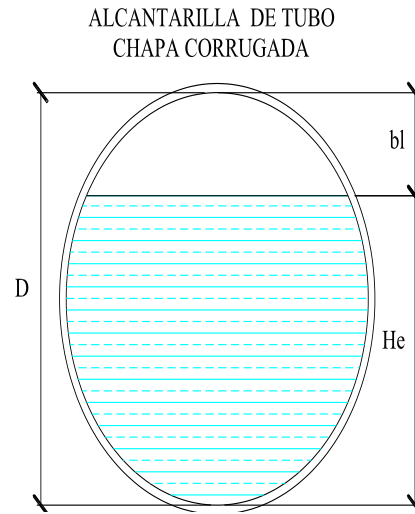
$$Q = CU * \frac{C * i * A}{3.6}$$

$$Q = 47.387 \text{ m}^3/\text{s}$$

ALCANTARILLA DE CHAPA METÁLICA SECCIÓN CIRCULAR

Datos :

Q m ³ /s =	47.387	
n =	0.022	Chapa metálica
S =	2.00%	
R =	Radio Hidráulico	
A =	Área Hidráulica	
bl =	0.4 D	



Fórmula de Manning

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

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

$$3.836 = \frac{\left[\left(\frac{\pi * D^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi * D^2}{4 * 180} \cos^{-1}(1 - 0.8D) \right) + (0.5D - 0.4D^2)^2 * \tan(\cos^{-1}(1 - 0.8D)) \right]^{\frac{5}{3}} * \frac{0.022^{\frac{1}{2}}}{0.022}}{\left[\left(\pi - \frac{\pi}{180} \cos^{-1}(1 - 0.8D) \right) * D \right]^{\frac{2}{3}}}$$

Iterando :

D =	1.485 m.
D (adop.) =	1.50 m.

Nota: se adoptó dos tuberías de 1.50 m de diámetro cada una por seguridad, en dicho lugar ya existe una alcantarilla de cruce, y al tomar sus dimensiones es un tubo de 1.50 m de diámetro.

Cuadro 27: Diseño de alcantarillas de cruce.

Nro.	Progresiva	Tipo de obra	Longitud (m)	Diámetro (m)
1	1+796.14	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50
2	2+016	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50
3	2+585	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50
4	2+985	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50
5	3+220	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50
6	3+340	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50
7	3+540	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50
8	3+640	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50
9	3+737	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50
10	3+900	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50
11	4+260	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50
12	4+724.50	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50
13	5+704	Alcantarilla de cruce de metal corrugado simple	12,00	1.50

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Cálculos métricos

Planilla de volúmenes de corte y relleno.

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

Cálculos métricos de las actividades.

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

Cuadro 28: Cálculos métricos pavimento flexible

Ítem	Descripción	Unidad	Dimensiones			Nº Veces	Volumen	
			X	Y	Z		Parcial	Total
1	INST. DE FAENAS MOV. Y DESMOV.	glb						1.00
						1.00	1.00	
2	LETRERO DE OBRAS	pza						1.00
						1.00	1.00	
3	REPLANTEO DE CAMINO	km						6.11
			6.11			1.00	6.11	
4	DESBROCE Y LIMPIEZA	ha						0.25
			6114.00	2.00	0.2	1.00	0.25	
5	EXCAVACIÓN TERRENO NO CLASIFICADO	m3						15489.04
			15489.04			1.00	15489.04	
6	CONFORMACIÓN DE TERRAPLÉN	m3						15342.72
			15342.72			1.00	15342.72	
7	CAPA SUBBASE PARA PAVIMENTO	m3						7092.24
			6114.00	17	0.2	1.00	7092.24	
8	CAPA BASE PARA PAVIMENTO	m3						3546.12
			6114.00	10	0.1	1.00	3546.12	
9	IMPRIMACIÓN BITUMINOSA	m2						35461.20
			6114.00	4		1.00	35461.20	

10	CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO	m3						1773.06
			6114.00	4	0.05	1.00	1773.06	
11	REPLANTEO DE ALCANTARILLAS	Pza						6.00
						6.00	1.00	
12	EXCAVACIÓN PARA OBRAS DE DRENAJE	m3						86.40
			36.00	12.0	0.20	1.00	86.40	
13	CAMA DE ARENA	m3						4.00
			40.00	1.00	0.10	1.00	4.00	
14	PROV. COLOC.ALCANTARILLA D=600	ml						40.00
			40.00			1.00	40.00	
15	H.C. PARA FUNDACIONES	m3						25.20
			0.63	5.00	1.00	8.00	25.20	
16	H.C. PARA ELEVACIONES	m3						25.44
			3.18		1.00	8.00	25.44	
17	RELLENO Y COMPAC. OBRAS DREN.	m3						50.70
			6.50	1.0	1.30	6.00	50.70	
18	REVESTIMIENTO DE CUNETAS	m2						7149.20
			5860	1.22		1.00	7149.20	

2.4. Presupuestos

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

2.4.1. Presupuesto general de ejecución

El presupuesto general del proyecto se presenta en anexos.

El presupuesto de la obra se realizó en el programa PRESCOM

Cuadro 29: Presupuesto general

Ítem	Descripción	UNID	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
				(Numeral)	(Numeral)
1	INSTALACIÓN DE FAENAS MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN	GLB	1	2003.84	2003.85
2	LETRERO DE OBRAS	PZA	1	443.68	443.68
3	REPLANTEO DE CAMINO	KM	6.3	754.36	4752.49
4	DESBROCE Y LIMPIEZA	HA	0.63	6854.24	4318.17
5	EXCAVACIÓN TERRENO NO CLASIFICADO	M3	15,489.04	99.41	1539776.52
6	CONFORMACIÓN DE TERRAPLÉN	M3	15127.2	26.22	396660.79
7	CAPA SUBBASE PARA PAVIMENTO	M3	-	-	-
8	CAPA BASE PARA PAVIMENTO	M3	3781.8	67.12	253843.87
9	IMPRIMACIÓN BITUMINOSA	M2	1512.72	6.83	10325.86
10	CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO	M3	151.272	1371.62	208339.42
11	REPLANTEO DE ALCANTARILLAS	PZA	32	993.82	31802.09
12	EXCAVACIÓN PARA OBRAS DE DRENAJE	M3	250	595.31	148828.25
13	CAMA DE ARENA	M3	20	679.42	13588.38
14	PROVISIÓN Y COLOCADO ALCANTARILLA	ML	384	1739.98	668153.46
15	HORMIGÓN CICLÓPEO PARA FUNDACIONES	M3	1262	1064.26	1343096.92
16	RELLENO Y COMPACTADO OBRAS DRENAJE	M3	141.12	633.48	89396.85
17	REVESTIMIENTO DE CUNETAS	M3	503	914.67	460078.31
PRECIO TOTAL (Numeral)					5175408.92
PRECIO TOTAL (Literal)		Cinco millones ciento setenta y cinco mil cuatrocientos ocho 92/100 BS.			

Fuente: Elaboración propia

2.5. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas para la construcción del mejoramiento de camino tramo San Jacinto – Tolomosa Grande, se las desglosa en los anexos.

2.6. 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.

2.6.1. Señalización horizontal.

2.6.1.1. Demarcación horizontal.

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

2.6.1.2. Marcas incrustadas en el pavimento (ojos de gato).

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

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

2.6.1.3. 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.

2.6.1.4. Tamaño de las señales

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

Tabla 20: Dimensiones de las señales verticales.

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

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

2.6.1.5. Ubicación lateral

Las señales se colocarán fuera de los carriles por donde circula el tránsito al lado derecho, teniendo en cuenta el sentido de circulación de tránsito en forma tal que el plano frontal de la señal y el eje de la vía formen un ángulo comprendido entre 85 y 90 grados para que su visibilidad sea óptima al usuario. La ubicación lateral de la 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 21: Ubicación longitudinal de las señales verticales.

Velocidad de operación (km/h)	Distancia (m)
30	30
40	40
50	50
60	60

Fuente: Manual de la ABC “Diseño Geométrico”

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

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

Luego de haber concluido con el diseño final del proyecto “DISEÑO DE INGENIERÍA MEJORAMIENTO CAMINO TRAMO SAN JACINTO – TOLOMOSA GRANDE” se puede llegar a una serie de conclusiones y recomendaciones.

- ❖ Este proyecto tiene como objetivo de realizar el Diseño de Ingeniería Mejoramiento de Camino Tramo San Jacinto - Tolomosa Grande, regulado bajo normativas específicas, con la finalidad de obtener un trayecto más óptimo de una carretera garantizando su transitabilidad en toda época del año, el cual se cumplió en su totalidad y se obtuvo los siguientes valores. Se adoptó un ancho carril de 3,00 metros, debido a la velocidad elegida basada en la norma y las colindantes.

Tabla 22: Parámetros de referencia de resumen de valores

Parámetros	Valores	Unidades
Categoría del camino	Desarrollo (2BD)	-
Velocidad de diseño (Vd.)	40	km/h
Peralte máximo ($e_{máx}$)	7	%
Coeficiente de fricción transversal (f)	0,192	-
Radio mínimo ($R_{mín}$)	50	m
Distancia mínima de frenado (Df)	52	m
Distancia mínima de adelantamiento	300	m
Longitud máxima en recta	1000	m
Longitud mínima en recta	70	m
Berma	0,50	m
Ancho de plataforma	7	m
Ancho de calzada (2a)	6	m
Ancho de carril (a)	3	m
Longitud mínima en curvas verticales	50	m
Sobre ancho de plataforma	0,5	m
Derecho de vía (red municipal)	30	m
Coeficiente Kc mínimo cóncavo	1000	m

Coeficiente Kv mínimo convexo	700	m
Capa asfáltica	4	cm
Capa base granular	10	cm
Capa subbase granular	17	cm

Fuente: Elaboración propia

- ❖ Se efectuó un levantamiento topográfico minucioso y a detalle para adquirir datos topográficos que abarca los 6.3 km, considerando el derecho de vía de unos 30 metros y sus respectivos BM, para su posterior procesamiento.
- ❖ Se determinó el tipo de suelo de la subrasante, mediante ensayos normados por los manuales, se los realizó en los laboratorios de suelos de la U.A.J.M.S.

Tabla 23: Resultados del estudio de suelos

Tipo de suelos predominantes		
Clasificación AASHTO, SUCS	Nro. 1	Nro. 2
	A-1-b (0)	A-1-a (0)
Descripción	Suelo arenoso, con arcilla orgánica	Grava , arena

Fuente: Elaboración propia

- ❖ Se elaboró el diseño de las obras de arte menor como ser las alcantarillas de alivio, alcantarilla de cruce y cunetas, en base a datos de la única estación pluviométrica (Estación San Jacinto), realizando el estudio hidrológico correspondiente del tramo en estudio para determinar alturas de lluvias máximas, intensidades máximas de lluvias y así poder determinar los caudales de diseño.
- ❖ Se definió mediante un estudio de tráfico el tipo y cantidad de vehículos que circulan desde la presa de San Jacinto a Tolomosa Grande, se observó y determinó que en la zona existe un alto movimiento vehicular, donde la proporción de vehículos livianos es la más significativa en comparación a buses y camiones.
- ❖ Se realizó el diseño geométrico, aplicando parámetros adoptados de la normativa de los manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia, también con el uso del software informático AutoCAD Civil 3D.

- ❖ Se elaboró los planos bimodales, planos de secciones transversales, planos de alcantarillas, planos de detalles, que se encuentra en el tomo de planos
- ❖ Y además podemos decir que si construimos la carretera, llegaríamos a solucionar el problema que tenían los beneficiarios (comunarios de la zona), de tal manera que hoy en día van a circular de forma rápida por ese tramo de San Jacinto a Tolomosa Grande, que es un problema, y por la cuestión de este se garantiza la transitabilidad por esta carretera en todo el año, teniendo una estructura que va a permitir en épocas de lluvia circular teniendo cunetas, pendientes para evacuar aguas en la superficie de la carretera.
- ❖ Además, puedo decir, que el paquete estructural a usar será pavimento flexible por ser el más adecuado para la lluvia y es el más económico, no es por lo tanto un tramo de alto tráfico, si se encuentra en una zona productiva pero no es de alto tráfico, entonces eso hace que el proyecto haya alcanzado su objetivo.
- ❖ Se utilizó el método AASHTO – 93, para el paquete estructural con un espesor de:

Concreto asfáltico (ca)	4cm
Capa base	9cm

- ❖ El costo presupuesto general de la obra es de 5175408.92Bs

3.2. Recomendaciones

Habiéndose hecho todo el diseño, podemos nombrar unas recomendaciones.

- ❖ Una recomendación importante es sobre el tramo, la cual podemos decir que el camino ya se encuentra confinado a un trazo que existe hace varios años, no se puede invadir propiedad, en ambos lados del camino se encuentra delimitado por cultivos, por viviendas y postes de luz, Esto no nos da mucha libertad para elegir entre varias alternativas de trazo del diseño geométrico.
- ❖ Se recomienda hacer un análisis de estudio de suelos, más preciso, y con mucho cuidado al momento de extraer la muestra, por que como ya hemos dicho a ambos márgenes del camino se encuentra el cultivo el cual ya es un suelo tratado, y el

camino en si se encuentra con un enripiado, el cual lleva tratándose así desde hace varios años, y habría que realizar excavaciones de más de un metro lo cual es muy moroso, cansador, tener en cuenta al momento de la toma de muestra.

- ❖ Hacer un estudio de tráfico aparte para corroborar el estudio previo ya realizado, como ser en los meses de fiestas o feriados de la provincia. Siendo este que en esas fechas existe mayor concurrencia de vehículos por ser una zona turística, lo cual nos dará un aforo más real, y confiable, y mejor al anterior aforo realizado para el proyecto, que se lo realizo en los meses de poca afluencia por vehículos livianos, medianos y los pesados. También ubicar puntos estratégicos para realizar el aforo de vehículos que representen el tráfico actual para no cometer errores ni calcular una proyección de vehículos incorrecta.
- ❖ Para el estudio hidrológico, sería conveniente contar con datos pluviométricos de otras estaciones para que el estudio sea más confiable, más consistente, porque solo nos basamos en la única estación pluviométrica de Tolomosa, también recomiendo usar otras metodologías nuevas, para estimar las precipitaciones, para estimar intensidades máximas, y con esto poder estimar caudales.
- ❖ Se recomienda hacer unas encuestas antes de la construcción del proyecto, a todos los beneficiarios, comunarios agricultores, sobre qué es lo que más hace afecta el camino actual, que creen ellos que necesite, ponerse en contacto con ellos, si alguna vez llego alguna quebrada en algún evento extraordinario, intentar sacar todas las referencias posibles para así mejorar la parte técnica del diseño o construir alguna obra de arte menor.