

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES.-

Los caminos vecinales para las comunidades son de vital importancia, ya que viene a constituirse en el medio más importante para la integración en el desarrollo social, cultural y comercial de las mismas.

La actividad agropecuaria en la zona rural, sin duda, es su principal fuente de ingresos económicos, sin embargo, para la comercialización de sus productos es imprescindible contar con caminos que ofrezcan seguridad y comodidad.

De esta manera, el proyecto de grado "Diseño final de ingeniería tramo SAN TELMO RÍO BERMEJO - COOPERATIVA J. KENNEDY", que se describe, consiste en realizar el diseño geométrico, a su vez el diseño de pavimento flexible y drenaje tratando de dar una solución a un problema real de una vía que se encuentra en funcionamiento que carecía de un diseño anterior.

1.2 JUSTIFICACIÓN.-

Los pobladores y productores agrícolas que forman parte de la comunidad no cuentan con un camino que reúna las condiciones adecuadas y se trasladen de Kennedy de manera rápida y económica a San Telmo por consecuencia a la ciudad de Tarija, trasladando así sus productos para el consumo externo e interno o ante la presencia de cualquier emergencia.

Por parte, en la zona de estudio presenta condiciones naturales favorables en cuanto a clima, suelo y agua, para la explotación agrícola; sin embargo, el camino actualmente en uso cuenta con algunas dificultades de transitabilidad, la geometría del tramo no reúne las condiciones de seguridad para el conductor como para el peatón.

Esta situación induce a realizar un diseño geométrico siguiendo el manual vigente de nuestro país y dimensionar los espesores del pavimento, de esta manera se podrá contar con un camino pavimentado que reúna condiciones óptimas de geometría y drenaje, mejorando la calidad de vida de los comunarios.

1.3 OBJETIVOS DE PROYECTO DE DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA.-

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.-

El objetivo general del presente proyecto es de realizar el diseño final de ingeniería aplicado al tramo "**SAN TELMO RÍO BERMEJO - COOPERATIVA J. KENNEDY**", de acuerdo a las exigencias y demandas actuales del área de influencia del proyecto.

1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.-

- Analizar los aspectos técnicos de los criterios, normas y manuales de nuestro país relacionados al diseño geométrico, hidráulico y estructural, proporcionando la base fundamental para realizar el proyecto.
- Desarrollar un levantamiento topográfico con el fin de alcanzar coordenadas, elevaciones del terreno y por ende las curvas de nivel del terreno.
- Hacer una exploración del suelo a lo largo del tramo, extrayendo muestras de la subrasante para luego examinarla en el laboratorio aplicando diferentes procedimientos que se exigen para el diseño estructural de carreteras.
- Cuantificar el tráfico vehicular actual en el camino de estudio, mediante aforos manuales.
- Adquirir los parámetros para efectuar el Diseño Geométrico del tramo conociendo el eje preliminar del que será el camino antiguo en uso actualmente para adecuarla a la necesidad y nuevas exigencias.
- Conseguir los volúmenes de corte y relleno provenientes del movimiento de tierra, que se representará en el diagrama de masas.
- Realizar un estudio hidrológico para el cálculo de las obras de drenaje a lo largo del trazo que facilitará el escurrimiento superficial del agua.
- Elaborar el dimensionamiento del paquete estructural del camino.
- Hacer los cálculos de los cómputos métricos y precios unitarios de los diferentes ítems del proyecto con sus respectivas especificaciones técnicas.

- Crear los planos del proyecto tales como: Bimodal, secciones transversales y las obras de drenaje con el programa computarizado AUTOCAD CIVIL 3D.

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO.-

La ubicación geográfica y localización del tramo "SAN TELMO RÍO BERMEJO - COOPERATIVA J. KENNEDY" estará definido en el ámbito municipal, provincial y departamental. Para una mejor visualización del entorno que rodea el camino se presentará una imagen satelital.

El capítulo de ingeniería del proyecto es la parte fundamental de este proyecto se recopilarán datos de campo como también se generarán parámetros de diseño de acuerdo a las normas y manuales de nuestro país, esto estará fundamentado y respaldado por la teoría que caracteriza cada concepto fundamental.

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

Una vez realizado el reconocimiento se definirá el eje preliminar por el eje actual del camino, que a partir de estas se practicará un levantamiento detallado de puntos a ambos lados del eje que posteriormente servirá para plasmar en un plano las curvas de nivel.

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

El estudio de tráfico que contempla un aforo manual de acuerdo al tipo de vehículos que circulen en el camino, esto servirá además para componer un análisis y cálculo de ejes equivalentes.

El diseño geométrico está referido exclusivamente a un nuevo diseño considerando el camino actual, en función a las normas de la A.B.C. (Administradora Boliviana de Carreteras).

Se definirá una sección transversal tipo para luego calcular las áreas de las secciones y sus respectivos volúmenes, para luego realizar un diagrama de masas.

A partir de datos pluviométricos se obtendrán los caudales de los cauces naturales lo cual servirá para realizar un cálculo hidráulico de las obras de drenaje.

Se elaborará el diseño del paquete estructural: Pavimento flexible y un tratamiento superficial, eligiendo la mejor alternativa previo estudio y análisis.

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

CAPÍTULO II: INGENIERÍA DEL PROYECTO

2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.-

El proyecto se localiza en la comunidad de San Telmo Río Bermejo y Cooperativa J. Kennedy del municipio de Padcaya primera sección de la provincia Arce del Departamento de Tarija.

Coordenadas:

22°32'16.00"S

64°24'30.00"W

553 m.s.n.m. Elevación



Figura 1: Mapa de Bolivia



Figura 2: Mapa de Provincia Arce

2.2 ACCESO AL ÁREA DEL PROYECTO.-

El acceso a la zona del proyecto es desde la ciudad de Tarija, "Ruta F1 Tarija - Padcaya - San Telmo - Bermejo"

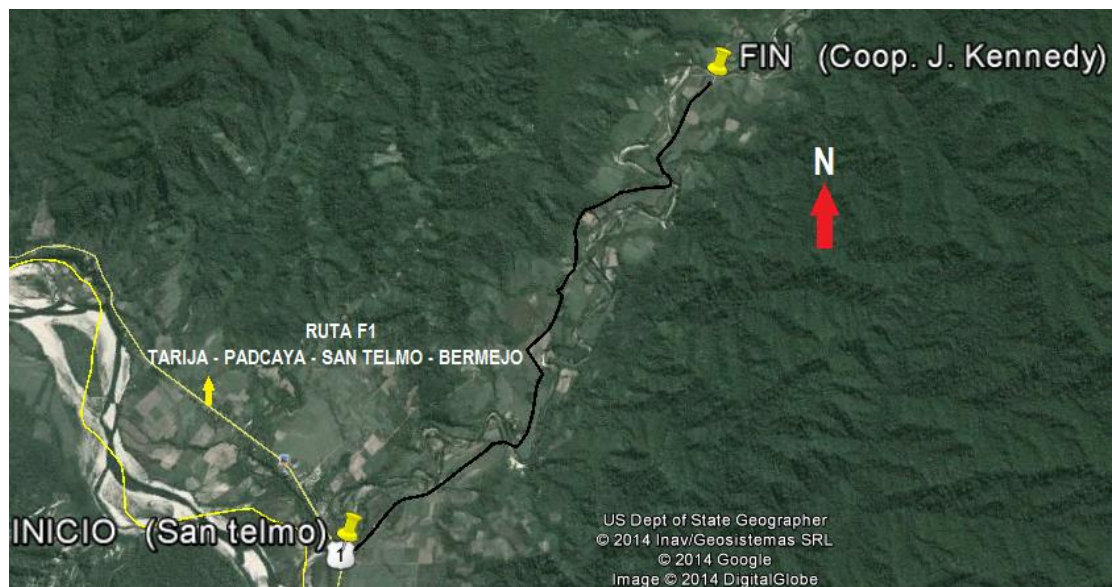


Figura 3: Imagen Satelital

2.3 ESTUDIOS PREVIOS DEL PROYECTO.-

2.3.1 ESTUDIO TOPOGRÁFICO.-

2.3.1.1 RECONOCIMIENTO.-

El reconocimiento de la ruta se la realizó sobre el camino actual, en el cual se desarrollará el trazado del eje de la vía estableciendo los puntos topográficos o técnicos y los políticos o sociales, de las cuáles se pudo destacar los siguientes:

A lo largo del tramo se establecieron 9 puntos topográficos de los cuáles 7 corresponden a cruces de quebradas y dos de mayor consideración que es el río Bermejo.

Entre los puntos políticos se pueden distinguir viviendas al inicio y al final del tramo, parcelas a lo largo del camino y cercos alambrados delimitando propiedades.

2.3.1.2 METODOLOGÍA DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.-

El trabajo se dividió en dos etapas: Campo y gabinete, las cuáles se describen a continuación:

En el **procedimiento de campo** los instrumentos utilizados son: Estaciones Total y Accesorios, GPS y material complementario (cinta métrica, libreta de anotaciones, pintura y pincel).



Fotografía N° 1: Estación Total Trimble M3 5''



Fotografía N° 2: Prisma

El levantamiento definitivo se realizó con el fin de determinar la configuración del terreno actual para posteriormente utilizar los datos necesarios y representarlos gráficamente en un plano de curvas de nivel.

Para empezar a desarrollar el levantamiento es imprescindible conocer las coordenadas del punto de partida (X, Y, Z), es por esto que se realizó la lectura del punto de partida con GPS (Sistema de Posicionamiento global).

Definido el punto de partida se procedió a instalar la estación total en dicho punto marcado, es necesario seguir los pasos que antiguamente se realizaban con el teodolito en cuanto a nivelación, es decir fijar el centro del punto marcado para luego nivelar, tanto el nivel circular como el tubular.

Antes de comenzar a efectuar el levantamiento es indispensable configurar las opciones internas de la Estación Total e introducir el punto de partida con sus respectivas coordenadas.

Ahora es necesario orientar el equipo, es decir, referenciar a partir del norte, que se lo practicó por coordenadas de un punto de referencia adicional al punto de partida.

Referenciado el punto de partida se procedió a componer el levantamiento definitivo a través del método conocido como método de las transversales con el fin de obtener datos en forma ordenada, la cual consiste en seccionar la vía a través de secciones transversales que cruzan ortogonalmente con una separación 20m. en rectas y 10m.

en curvas dependiendo del caso particular de algunos tramos, estas transversales tienen intermedios de un extremo al otro.



Fotografía N° 3: Desarrollando el levantamiento topográfico

Es lógico pensar que de un sólo punto de partida se podrá lecturar todos los puntos para confeccionar el plano de curvas de nivel, es de esta manera luego de lecturar las transversales del primer punto se procedió a cambiar de estación para esto se tuvo también que lecturar el punto estación y una referencia para comprobar que los puntos leídos en la estación son confiables y no tengan errores, el cambio de estación se hizo cuando la visibilidad no era buena ya sea por árboles, casas y entramos curvos.

Se establecieron BMs (Bancos de nivel) cada 500 m. en todo el tramo de estudio para el control vertical del levantamiento.

Los Levantamientos Complementarios fueron realizados en lugares singulares, como ser cruce de quebradas existentes, en lugares posibles de instalación de alcantarillas y límites de propiedad.

De ahí al terminar el levantamiento se tienen 1151 puntos leídos a lo largo del tramo.

El **procedimiento en gabinete** consiste en el de transferir datos de la estación total a la computadora por medio del cable USB, los puntos se convirtieron al formato de block de notas.

Para una idealización del terreno se utilizó el programa AutoCAD Civil 3D 2013, que nos facilita el trabajo en cuanto a planimetría (producción de planos topográficos en planta), modelos tridimensionales de terreno, curvas de nivel, obtención de cortes del terreno, cálculo de volúmenes por proyecto y el diseño geométrico del camino.

Una vez ingresado al programa se creó un proyecto con el nombre “Diseño Geométrico” y configurando algunos componentes (escala, unidad, etc.) se importaron el grupo de puntos del levantamiento (block de notas) para poder visualizar en la pantalla.

Los puntos se reflejan en la pantalla, de tal modo que a través de un procedimiento mecanizado se obtuvieron triangulaciones entre los puntos a partir de ellos se adquirieron las curvas de nivel de la faja del camino. Como se puede apreciar en la figura siguiente.

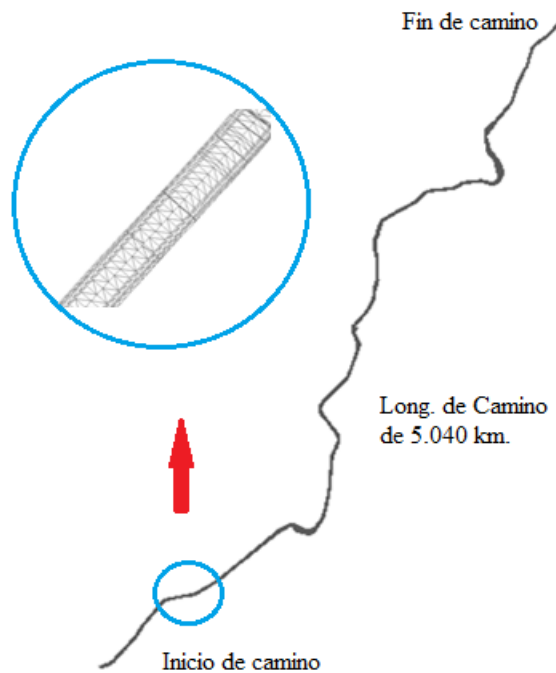


Figura 4: Triangulación del trazo del camino

Tabla 1: Ubicación de Bancos de Nivel (BM)

N°	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
0	355103.3648	7506959.596	537.8661	BM0
1	355706.3321	7507348.612	638.6542	BM1
2	355942.5755	7507525.67	556.7482	BM2
3	356299.0677	7507737.038	574.7321	BM3
4	356422.4255	7508213.41	640.1255	BM4
5	356490.1777	7508629.621	662.4111	BM5
6	356633.0001	7509065.014	650.6744	BM6
7	356765.8999	7509472.172	683.9522	BM7
8	357229.9399	7509578.992	685.7712	BM8
9	357351.1712	7510022.418	578.998	BM9
10	357584.0412	7510473.524	581.875	BM10

Fuente: Elaboración propia

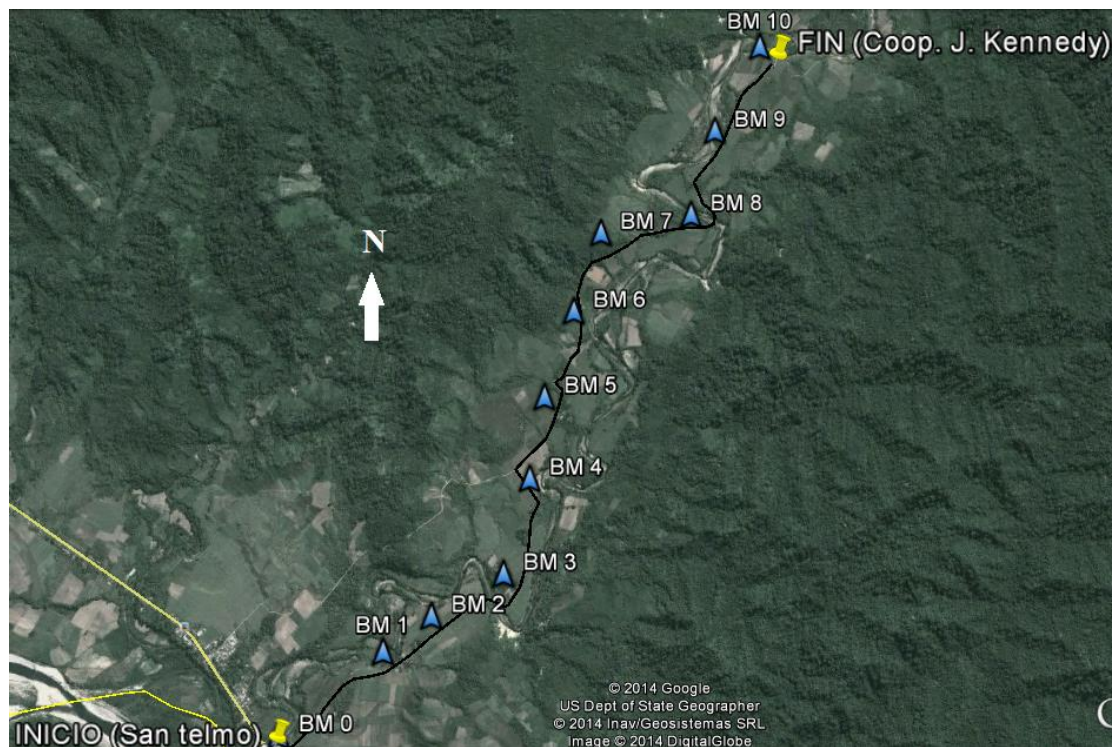


Figura 5: Ubicación de BMs en Imagen Satelital

Las planillas de coordenadas del levantamiento topográfico se pueden apreciar en Anexo 1.

2.3.2 ESTUDIO DE SUELOS.-

El estudio de suelos es una de las actividades más importante donde comprende la recolección de muestras suelo del terreno natural en toda la longitud del tramo SAN TELMO – COOP. J. KENNEDY como los ensayos en el laboratorio y su posterior análisis cualitativo y cuantitativo de cada uno de ellos.

La metodología adoptada en este estudio se dividió en las siguientes etapas:

- Etapa de campo
- Etapa de laboratorio de suelos
- Etapa de gabinete

El trabajo de campo consistió en el muestreo del suelo mediante excavación manual con dimensiones de 80 cm. de profundidad y 30 cm. de diámetro, la separación de las excavaciones se realizaron cada 500 m. logrando así 10 muestras de suelo en toda la longitud del camino.

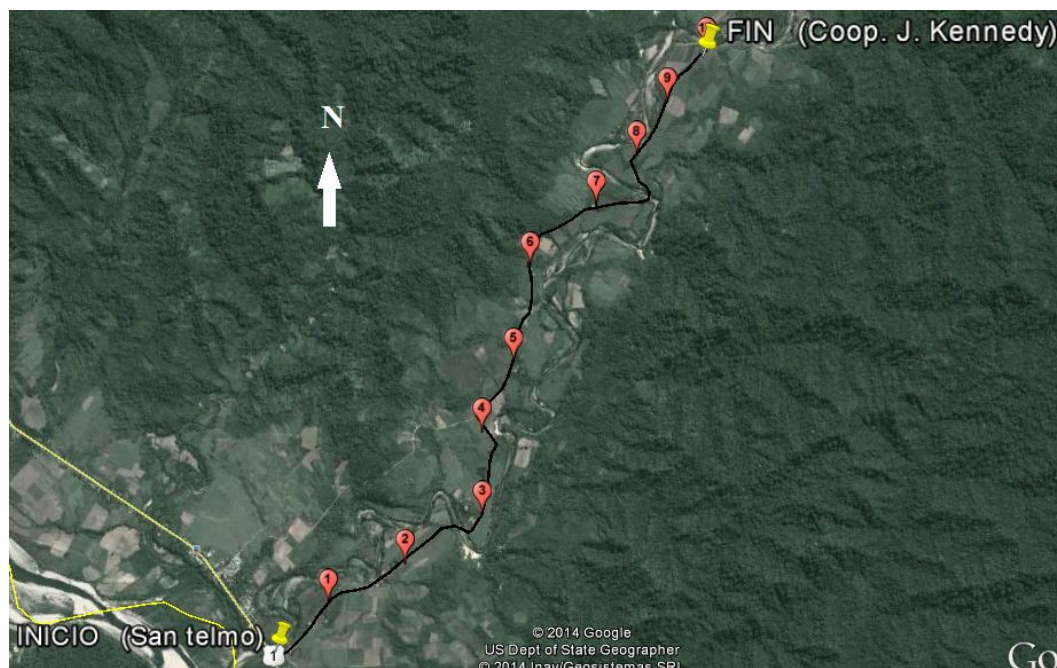


Figura 6: Ubicación del muestreo

Las muestras obtenidas, se llevaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para realizar los respectivos ensayos.



Fotografía N° 4: Lectura del C.B.R.

Los ensayos se elaboraron a cada muestra de acuerdo a la norma AASHTO, las cuales son:

- Contenido de Humedad (AASHTO T-265)
- Granulometría (AASHTO T-27)
- Límites de Atterberg (AASHTO T-89, AASHTO T-90)
- Relación Humedad-Densidad (T-99, T-180)
- Relación de Soporte de California C.B.R. (AASHTO T193-72)

Ahora, el trabajo de gabinete consistió en la tabulación, cálculo y clasificación de las muestras de suelo, que a continuación se prueban resultados de los ensayos materializados.

Tabla 2: Resultado del Análisis de Suelo

Ensayo	Progresiva	Clasificación	Compactación		C.B.R.
Muestra #	(km)	AASHTO	Dmax. (kg/cm²)	CHO (%)	95%
1	0+500	A-4(0)	2.09	8.64	20.00
2	1+000	A-4(0)	2.07	7.68	18.05
3	1+500	A-4(0)	2.01	9.82	12.73
4	2+000	A-4(5)	2.12	7.73	4.23
5	2+500	A-2-4(0)	2.23	6.33	13.19
6	3+000	A-4(6)	2.04	8.90	4.03
7	3+500	A-4(0)	2.14	8.80	14.51
8	4+000	A-2-4(0)	1.96	9.53	18.45
9	4+500	A-4(0)	2.00	10.24	11.65
10	5+000	A-2-4(0)	2.03	8.52	9.83

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Dmax = Densidad máxima.

CHO = Contenido de humedad óptima.

C.B.R. = Relación de Soporte de California.

Los suelos identificados que constituyen la subrasante natural donde prevalecen los suelos finos, se resumen en dos grupos que son:

Tipo de suelo A-4, con arenas limosas, incluyen mezclas de arena y limo, predominando el 80% en el trazo del proyecto.

El tipo de suelo A-2-4, que contienen limos inorgánicos y arenas finas limosas o arcillosas, con baja plasticidad, representa el 20% de suelo encontrado en el proyecto.

En cuanto a los C.B.R. de la subrasante, oscilan valores desde 4.03% como material pésimo, hasta 20% como suelo bueno, dependiendo de sus características de cada tipo de suelo en la zona.

A continuación se observa una gráfica del estudio de suelos realizado en el trazo del camino.

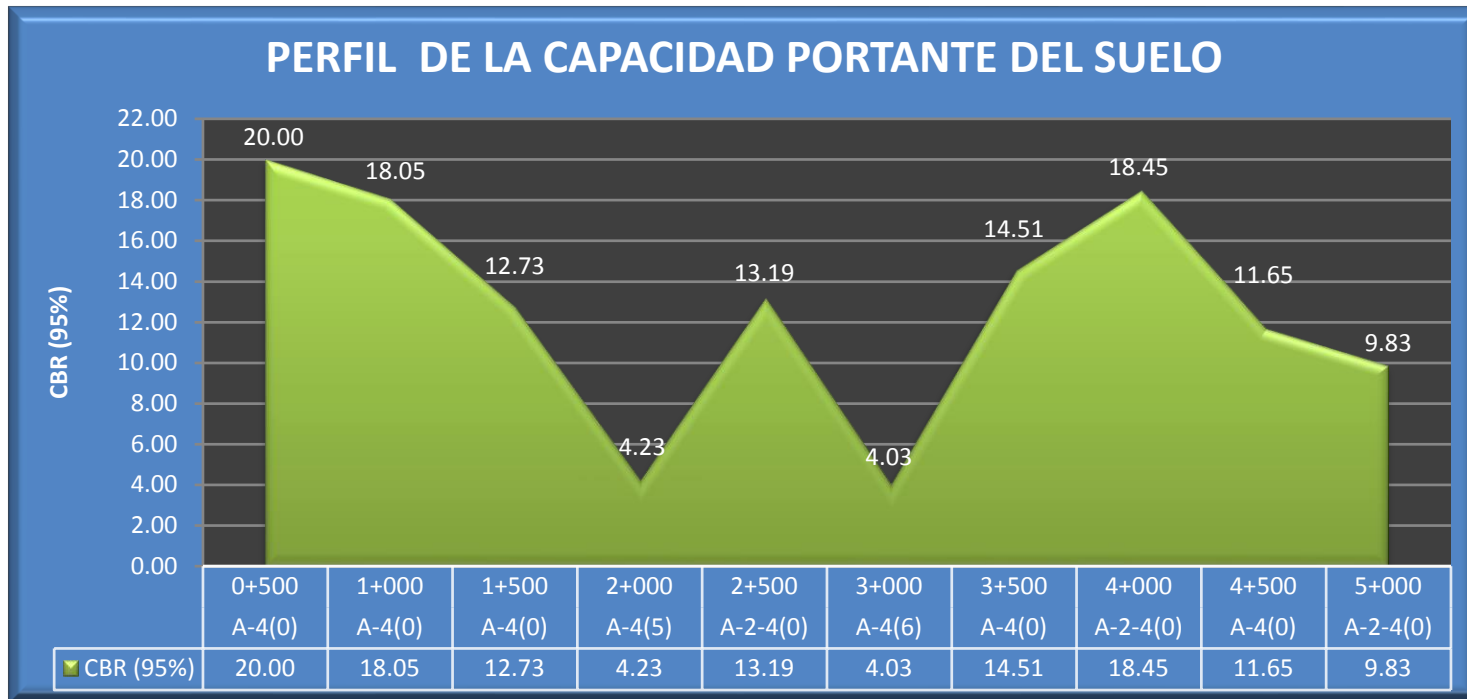


Figura 7: Perfil de la capacidad portante del suelo

El detalle de los ensayos de laboratorio de suelos realizados se encuentra en Anexo 2.

2.3.3 ESTUDIO DE TRÁFICO.-

Se realizó el aforo manual durante siete días (una semana) consecutivos las catorce horas del día de 6:00 am a 19:00 pm, realizando de manera personal el llenado de la tabla de aforo separando los vehículos según el tipo y peso: Tráfico liviano (automóviles, camionetas pequeñas, vagonetas) y mediano (camión mediano).

Tabla 3: Resultado del Aforo Manual

Tipo De Vehículo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio
Automóviles y Vagonetas	3	2	3	2	3	4	1	3
Camionetas	4	5	3	5	4	2	2	4
Camiones Medianos	4	5	6	3	6	3	5	5
Otros Vehículos	4	3	4	1	3	2	2	3
TOTAL	15	15	16	11	16	11	10	15

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.1 PRONÓSTICO DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO FUTURO.-

El pronóstico del volumen de tránsito futuro, deberá basarse no solamente en los volúmenes normales actuales, sino también en los incrementos del tránsito que se espera utilicen la nueva carretera.

$$TF = TA + IT$$

El tránsito actual, TA, es el volumen de tránsito que circula en el camino, es suficiente la utilización en términos de los volúmenes de tránsito diario anual, TPDA.

Para obtener el tránsito promedio diario anual, TPDA, es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año. Esta información anual es difícil de obtener, por los costos que ello implica. En estas situaciones, muestras de los datos sujetas a las mismas técnicas de análisis permiten generalizar el comportamiento de la población. Por lo anterior, en el análisis de volúmenes de tránsito, la media

poblacional o TPDA, se estima con base en la media maestra o TPDS, según la siguiente expresión:

$$TPDA = TPDS = 15 \text{ veh. /día.}$$

El incremento del tránsito, IT, es el volumen de tránsito que se espera use el camino en el año futuro seleccionado como proyecto. Este incremento se compone del crecimiento normal del tránsito, CNT, del tránsito generado, TG, y del tránsito desarrollado, TD.

El crecimiento normal de tránsito, CNT, es el incremento del volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos de las personas. Se utilizará los indicadores del crecimiento del parque vehicular para el propósito del proyecto.

$$CNT = TA(1 + i)^n$$

Dónde:

TA= Tránsito actual

I = Tasa de Crecimiento del Tránsito de Tarija.

n = Año (0, 1, 2, 3,...)

Tabla 4: Índice de Crecimiento del Parque Automotor de Tarija

Índice de Crecimiento del Parque Automotor de Tarija		
2011	i (%)	7.89
2012		
2013		

Fuente: R.U.E.

El tránsito generado, TG, consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los del transporte público, que no se realizarían si no se mejoría el camino. Al tránsito generado se le asignan tasas de incremento entre 5% y el 25% del tránsito actual, con

un periodo de generación de uno o dos años después de que el camino ha sido abierto al servicio.





El tránsito desarrollado, TD, es el incremento del volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente al camino. A diferencia del tránsito generado, TG, el tránsito desarrollado continúa actuando por muchos años más después que el camino ha sido puesto al servicio. Por experiencia indica que en carreteras construidas con altas especificaciones, el suelo lateral tiende a desarrollarse más rápidamente de lo normal, generando un tránsito adicional el cual se considera como tránsito desarrollado, con valores del 5% del tránsito actual.

Las proyecciones de tráfico se muestran en Anexo 3.

2.3.3.2 CLASIFICACIÓN Y VEHÍCULO TIPO DE DISEÑO.-

Los vehículos que transitan por el camino están catalogados de la siguiente manera:

Tabla 5: Configuración vehicular por tipo de Ejes

CÓDIGO	TIPO DE VEHÍCULO	CAPACIDAD (Ton.)	EJES	FIGURA
1	Automóviles y vagonetas	1.5	2	
2	Camionetas	2	2	
C2m	Camión mediano	2.5-10	2	
12	Otros Vehículos	3	2	

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

Dentro de esta organización, el vehículo tipo de diseño es el camión mediano, que se identificó como el más representativo dentro de la corriente de tránsito que circula y circulará por el tramo del camino.

Sus dimensiones del vehículo tipo son:

Ancho total = 2.60 m.

Largo total = 11 m.

Distancia entre parachoques delantero y último eje trasero (L_0) = 9.5 m.

La capacidad de carga de proyecto es de vital importancia para el diseño de pavimentos, que están expresados en el cálculo de los ejes equivalentes.

2.3.3.3 ESTIMACIÓN DE EJES EQUIVALENTES (ESALs).-

Debido al daño que producen los vehículos de diferentes pesos al pavimento, el cálculo de ejes equivalentes denominados ESALs (Equivalent Simple Axial Load), se obtuvo a través de los aforos realizados y acumulados durante el período de diseño, donde se convierten las cargas a un número de repeticiones de cargas equivalente de un eje simple de ruedas duales estándar de 18,000 lb.

El programa de DIPAV 2.1 que es un software que facilita el diseño de pavimento flexible (AASHTO-93), proporciona una hoja electrónica muy útil para calcular el número acumulado de ESALs a partir de datos de tráfico, configuración y tipo de eje.

Tabla 6: Resultado de ejes equivalentes

TIPO DE VEHÍCULO	VOLUMEN DIARIO	TRÁNSITO DE DISEÑO	FACTOR DE CAMIÓN	Nº ESALs p/DISEÑO
Automóviles	3	266,450	0.00013	69
Camionetas	4	354,780	0.00031	220
Camión mediano	5	443,110	Eje delantero 0.0036 Eje trasero 0.68988	307,288
Otros vehículos	3	266,450	0.00125	666

Total de vehículos (TPDA)	ESALs de DISEÑO
15	154,122

Fuente: Elaboración propia

La metodología empleada en el cálculo de ejes equivalentes se puede apreciar en Anexo 3.

2.3.4 ESTUDIO HIDROLÓGICO.-

En este estudio obtendremos las intensidades para un determinado periodo de diseño para luego calcular el caudal máximo, en función al tipo de obra de arte a diseñar.

Para ello se realizó lo siguiente:

- Elección del periodo de Retorno (T)
- Recopilación de los datos hidrológicos
- Análisis de los datos hidrológico

2.3.4.1 PERIODO DE RETORNO.-

Se realizó la elección del periodo de retorno denominado al intervalo de tiempo promedio dentro del cual el caudal máximo puede ser igualado o superado al menos una vez en promedio, asumiendo para este proyecto 50 años para alcantarillas y 10 años en cunetas.

2.3.4.2 RECOPIACIÓN DE LOS DATOS HIDROLÓGICOS.-

La información pluviométrica fue proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Se eligió aquella estación pluviométrica próxima a la cuenca de aporte que inciden sobre el proyecto vial.

Tabla 7: Precipitación Máxima en 24 Horas. (mm)

Estación: Guandacay	Lat. S.: 22° 24'
Provincia: Arce	Long. W.: 64° 30'
Departamento: Tarija	Altura: 980 m.s.n.m

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

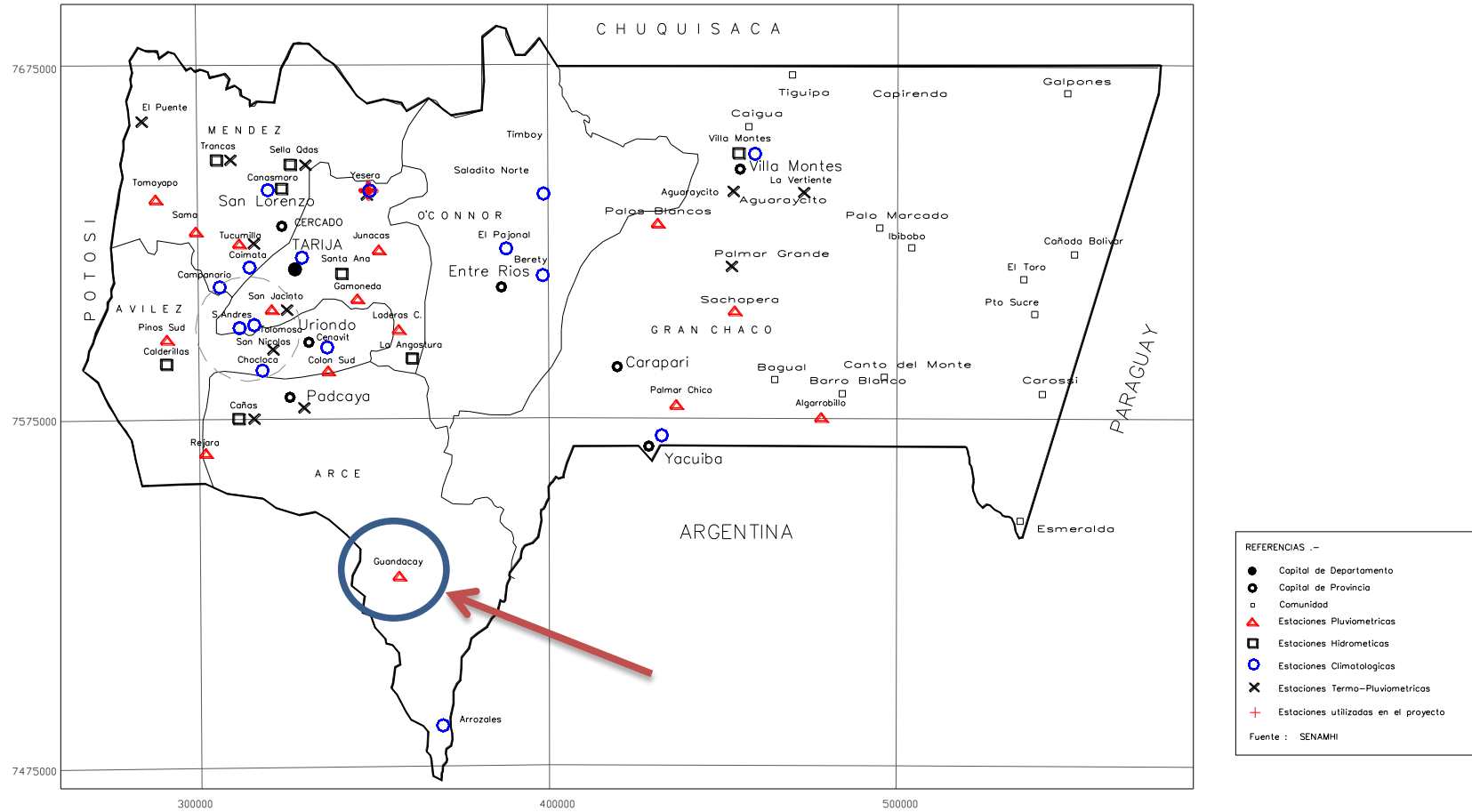


Figura 8: Ubicación De La Estación

2.3.4.3 CÁLCULO DE LA INTENSIDAD MÁXIMA.-

El cálculo de la intensidad máxima se realiza a través de precipitaciones máximas horarias en 24 horas y el tiempo de concentración, haciendo un análisis estadístico de las precipitaciones para un determinado periodo de retorno mediante el modelo Log Pearson III.

Variables estadísticas:

$$\text{Log Natural} = X$$

$$(y-u)^2 = (\text{log Natural} - X_m)^2$$

$$(y-u)^3 = (\text{Log Natural} - X_m)^3$$

$$u_l = \frac{\sum \text{log natural}}{\# \text{ datos}}$$

$$C_{vl} = \frac{SI}{u_l}$$

$$C_{sl} = \frac{\sum (y-u)^3}{\frac{\# \text{ datos}}{SI^3}}$$

$$w = \sqrt{\ln \frac{1}{T}}$$

$$k = \frac{C_{sl}}{6}$$

$$Z = w - \frac{2.51 + 0.80w + 0.010w^2}{1 + 1.43w + 0.19w^2 + 0.0013w^3}$$

$$KT = Z + (Z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(Z^3 - 6Z)k^2 - (Z^2 - 1)k^3 + Zk^4 + \frac{1}{3}k^5$$

$$HT = e^{u_l} * e^{kT*SI}$$

Dónde:

X_m = Media

u_l = Media de log.

S_l = Desviación típica Log.

T = Periodo de retorno

C_{sl} = Coeficiente de sesgo Log.

C_{vl} = Coeficiente de variación Log.

Lluvia máxima horaria menores a 2 horas

$$ht_T = 2 * \left(\frac{(4 * a * t)^{0.5}}{t} \right)$$

$$a = \frac{ht_T^2}{4t}$$

Lluvia máxima horaria mayores a 2 horas y menores a 12 horas

$$ht_T = HT * \left(\frac{\left(\frac{t}{18} \right)^{0.2}}{t} \right)$$

Dónde:

ht_T = Altura de lluvia horaria (mm.)

t = Tiempo de duración de lluvia (horas)

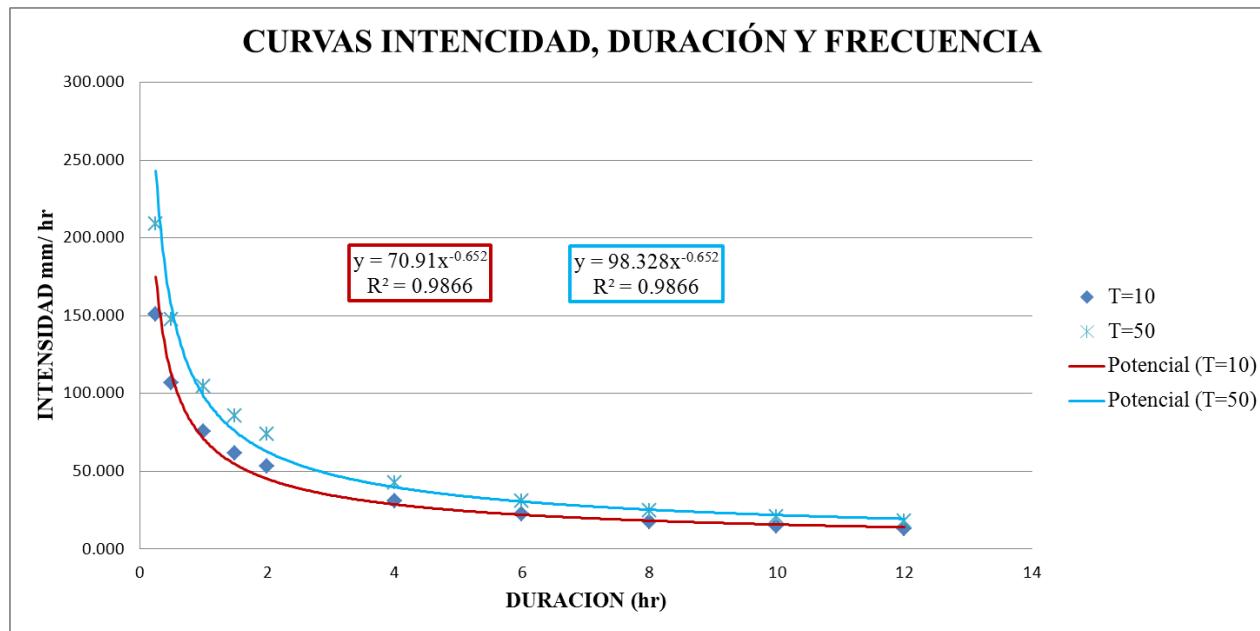


Figura 9: Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia

2.3.4.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.-

Se determina el tiempo de concentración para las diferentes intensidades de los cruces de quebrada a partir de las relaciones empíricas, para luego disponer de un promedio.

- GIAMDOTTI
$$tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{25.3 \cdot J \cdot L}$$
- KIRQICH Z.P. (Californiana)
$$tc = \left(\frac{0.871 \cdot L^3}{H} \right)^{0.385}$$
- BASSO E.
$$tc = 0.066 \left(\frac{L}{\sqrt{J}} \right)^{0.77}$$

t_c = tiempo de concentración (hr.)

A = Área de la cuenca (km²)

L = Longitud del río principal (km)

J = Pendiente media del río (m/m)

H = Diferencia de elevación (m.)

La **Intensidad máxima** para determinar el caudal de diseño en alcantarillas de cruce será:

$$i = 98.328 * t_c^{-0.652}$$

Dónde:

i = Intensidad máxima (mm/hr), para un periodo de retorno de 50 años.

t_c = tiempo de concentración,(hr)

Tabla 8: Intensidades para las alcantarillas de cruce

Unidad o Cuenca	Curso Principal	Intensidad I (mm/hr)
		T = 50
1	Quebrada S/N 1	374.38
2	Quebrada S/N 2	379.19
3	Quebrada S/N 3	435.57
4	Quebrada S/N 4	350.19
5	Quebrada S/N 5	397.70
6	Quebrada S/N 6	443.70
7	Quebrada S/N 7	428.13

Fuente: Elaboración propia

La intensidad para el diseño de la cuneta será:

$$i = 70.91 * tc^{-0.652}$$

$$i = 228.067 \text{ mm/hr.}$$

i = Intensidad máxima (mm/hr), para un periodo de retorno de 10 años.

$t_c = 0.17$ hr, tiempo de concentración mínimo de 10 min, recomendada por la A.B.C.(Administradora Boliviana de Carreteras).

El cálculo de las intensidades se detalla en Anexo 4.

2.4 DISEÑO GEOMÉTRICO.-

El diseño geométrico corresponderá a definir un eje longitudinal tratando de ajustar curvas mejorando así sus condiciones geométricas, el diseño en planta como perfil de tal manera que ofrezca seguridad, comodidad y estética para el conductor como para los peatones.

2.4.1 PARÁMETROS DE DISEÑO.-

Para encarar adecuadamente el diseño geométrico de un camino los parámetros son fundamentales, ya que se toma en cuenta diferentes factores que influyen en nuestro diseño tales son los funcionales, físicos, operativos y económicos.

2.4.1.1 DERECHO DE VÍA.-

Consiste en la franja de terreno a cada lado de la vía de 50 metros, medida horizontal y perpendicularmente a partir del eje de la carretera. Establecido de acuerdo a la Administradora Boliviana de carreteras (A.B.C.).

2.4.1.2 TIPOS DE VELOCIDADES EN EL DISEÑO.-

Las velocidades consideradas en este proyecto son:

Velocidad de proyecto (Vp).- Velocidad que permite definir las características mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad.

Velocidad específica (Ve).- Es la máxima velocidad que puede circular un vehículo a lo largo del trazado en condiciones de seguridad y comodidad.

Tabla 9: Velocidades específicas en curvas horizontales

R (m)	e %	Ve (km/h)
25	7.0	30.1
30	7.0	32.7
40	7.0	37.2
50	7.0	41.1
60	7.0	44.6
70	7.0	47.7
80	7.0	50.5

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

2.4.1.3 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO.-

El Proyecto a diseño final de ingeniería "SAN TELMO RÍO BERMEJO - COOPERATIVA J. KENNEDY", se categoriza como un Camino de Desarrollo como se puede apreciar en el cuadro siguiente, que se empleará para designar una vía de características geométricas medias a mínimas, adecuadas para dar servicio a volúmenes moderados y bajos de tránsito, cuya función principal consiste en dar acceso a la propiedad adyacente.

Tabla 10: Clasificación funcional para Diseño de Carreteras y Caminos Rurales

CATEGORÍA		SECCIÓN TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	CÓDIGO TIPO
		N° CARRILES	N° CALZADAS		
Autopista	(O)	4 ó + UD	2	120 – 100 – 80	A (n) – xx
Autoruta	(I.A)	4 ó + UD	2	100 – 90 – 80	AR (n) - xx
Primario	(I.B)	4 ó + UD	2(1)	100 – 90 – 80	P (n) - xx
		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

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

La velocidad de proyecto de acuerdo a la categoría y el tipo de terreno (ondulado medio) será de 40 km/hr.

2.4.1.4 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE FRENADO, DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO, VISIBILIDAD EN CURVAS HORIZONTALES.-

Un camino debe ser diseñado de manera tal que el conductor cuente siempre con una visibilidad suficiente como para ejecutar con seguridad las diversas maniobras a que se vea obligado o que decida efectuar.

a) Distancia de frenado.-

En todo punto de un camino, un vehículo en movimiento, ante la aparición de un obstáculo 0.20 m de alto que es percibido por el conductor necesita una distancia suficiente para detenerse.

$$D_f = dt + df$$

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

Dónde:

D_f = Distancia de frenado (m)

V = Velocidad de proyecto

t = tiempo de percepción + reacción (s)

f_1 = Coeficiente de roce rodante, pavimento húmedo.

i = Pendiente longitudinal (m/m)

dt = Distancia recorrido durante el tiempo de percepción + reacción

df = Distancia recorrida durante el frenado hasta la detención junto al obstáculo.

Tabla 11: Distancia Mínima de Frenado

V	t	f_1	dt	df	Df (m)	
km/h	s	-	m	m	dt + Df	Adoptada
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
55	2					60
60	2	0.460	33.3	35.5	68.8	70
65	2					80
70	2	0.380	38.9	50.8	89.7	90

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

b) Distancia de adelantamiento.-

La distancia de adelantamiento “ D_a ”, equivale a la visibilidad mínima que requiere un conductor para adelantar a un vehículo que se desplaza a velocidad inferior a la de proyecto.

En el siguiente cuadro se muestran los valores mínimos a considerar en el diseño como visibilidades adecuadas para adelantar.

Tabla 12: Distancia mínima de adelantamiento

Velocidad de Proyecto km/h	Distancia Mínima de Adelantamiento (m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

c) Visibilidad en curvas horizontales.-

Cuando un vehículo recorre una curva horizontal, cualquier obstáculo al borde interior del camino, debido a la presencia de taludes de corte, muros, arboles, etc., impiden la visión al conductor hacia adelante y por lo tanto la curva es peligrosa.

Si el diseño es para proporcionar una circulación segura, esta distancia horizontal de visibilidad debe ser igual o exceder a la distancia de visibilidad de frenado. Como se ve en la figura 10.

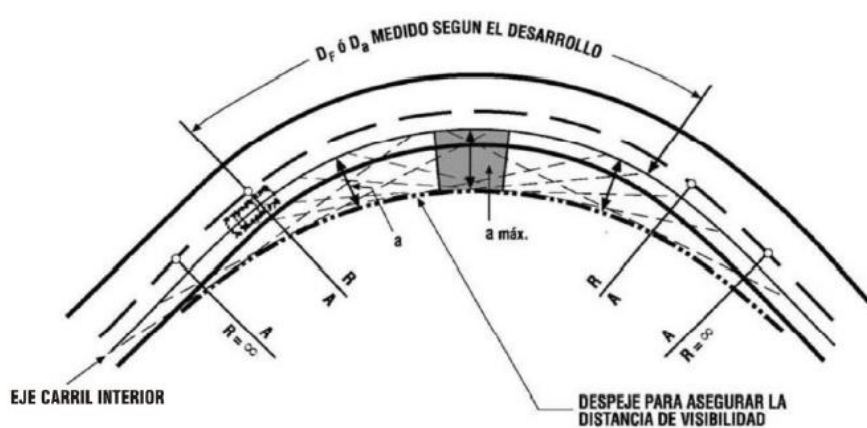


Figura 10: Distancia horizontal de visibilidad

En la zona sombreada ilustra el valor “a máx.” requerido para lograr la visibilidad necesaria. Este valor puede ser calculado analíticamente a partir de la expresión:

$$a \text{ max} = R \left[1 - \cos \left(\frac{100 * Df}{\pi * R} \right) \right]$$

Reemplazando en la ecuación:

Tabla 13: Despeje lateral

Radio (m)	Despeje lateral a (m)
R = 50	4.40
R = 60	3.68
R = 65	3.40
R = 75	2.95
R = 80	2.77
R = 85	2.61
R = 95	2.34
R = 100	2.22
R = 200	1.11

Fuente: Elaboración propia.

2.4.1.5 LONGITUDES MÁXIMAS EN RECTA.-

Se procurará evitar longitudes en recta superiores a:

$$L_r \text{ (m)} = 20 * V_p \text{ (km/h)} = 20 * 40 = 800 \text{ m.}$$

Dónde:

L_r = Longitud máxima de recta

V_p = Velocidad de Proyecto (km/hr).

2.4.1.6 LONGITUDES MÍNIMAS EN RECTA.-

Se debe distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distinto sentido o curvas en “S” de aquellas correspondientes a curvas en el mismo sentido.

- **Tramos rectos intermedios de mayor longitud**, deberán alcanzar o superar los mínimos que se señalan, los que responden a una mejor definición óptica

del conjunto que ya no opera como una curva en S propiamente tal, y están dados por :

$$Lr \text{ mín} = 1.4 * Vp = 56 \text{ m.}$$

- **Tramo recto entre curvas en el mismo sentido:**

Por condiciones de guiado óptico es necesario evitar las rectas excesivamente cortas entre curvas en el mismo sentido, en especial en terreno llano y ondulado suave con velocidades de proyecto medias y altas.

Valor mínimo de recta entre curvas horizontales del mismo sentido para nuestro proyecto es de 55 m según la tabla siguiente.

Tabla 14: Longitud mínima en recta

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

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

2.4.1.7 PERALTE, COEFICIENTE DE FRICCIÓN.-

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

Tabla 15: Peralte máximo y fricción transversal

	e máx.	f
Caminos Vp 30 a 80 km/h	7%	0.265-V/602.4
Carreteras Vp 80 a 120 km/h	8%	0.193-V/1134

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

El coeficiente de fricción “f” según la ecuación tendrá un valor de 0.198 para la velocidad de proyecto de 40 km/h.

- **Peraltes en curvas circulares.-**

El criterio propuesto consiste, a medida que aumente el radio de curva circular por encima del mínimo, se reducirá gradualmente el peralte “e”.

Esta reducción gradual se realizará en relación curvilínea entre los peraltes y radio de la curva conforme a la siguiente expresión:

$$e = e_{\max} * \left(\frac{2 * R_{\min}}{R} - \frac{R_{\min}^2}{R^2} \right)$$

- Desarrollo de peralte en curvas circulares

Para pasar de una sección transversal con bombeo a otra con peralte, es necesario hacerlo gradualmente, a este segmento se lo denomina “longitud de transición de peralte”.

Si en la curva circular horizontal se ha previsto la construcción de espirales de transición, la transición de peralte se realiza en la longitud de la espiral de transición.

Cuando solo se dispone de curvas circulares, se realiza la transición, una parte en recta y otra parte sobre la curva, bajo el criterio de que por lo menos 1/3 de la longitud de la curva tenga el peralte completo. Figura 11.

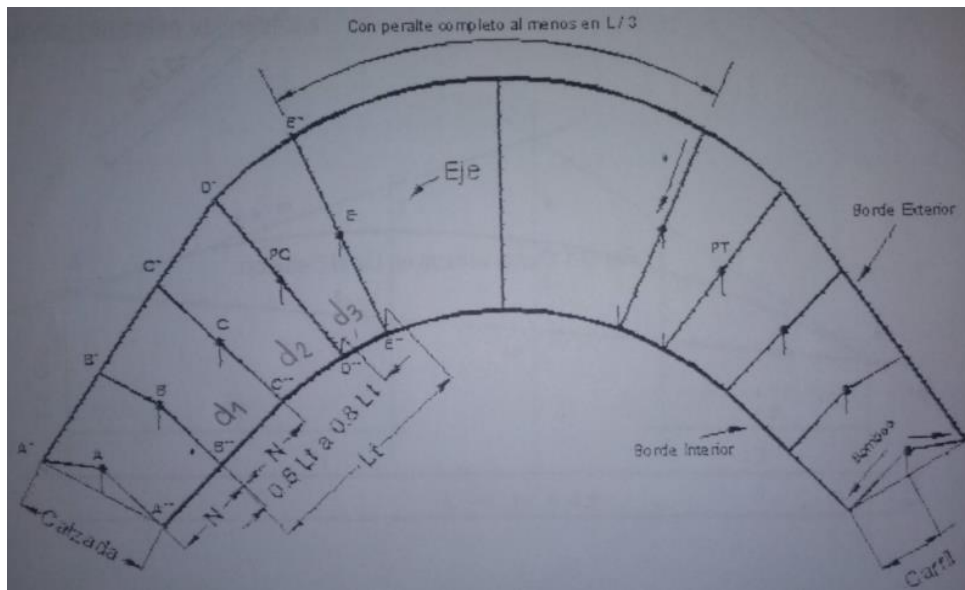


Figura 11: Curva circular con transición de peralte

En caminos bidireccionales, el giro normalmente se dará en torno al eje en planta que coincide con el eje de simetría de la calzada, la longitud para la transición queda dada por:

$$L_t = \frac{\text{carril} * e}{\Delta}$$

L_t = Longitud del desarrollo del peralte (m.)

Δ = Pendiente relativa de borde de la calzada, respecto de la pendiente longitudinal del eje de la vía (%), cuyos valores normales y máximos, tabla 16.

e = Peralte

b = bombeo

$$N = \frac{\text{carril} * b}{\Delta}$$

Tabla 16: Pendiente relativa de borde de la calzada

V _p (km/h)	30-50	60-70	80-90	100-120
Δ Normal	0.7	0.6	0.5	0.35
Δ Max n=1	1.5	1.3	0.9	0.8
Δ Max n > 1	1.5	1.3	0.9	0.8

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

2.4.1.8 RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS.-

El radio que se considera en el diseño en planta como un valor límite es el radio mínimo para la velocidad de proyecto dada, calculado bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento, están dados por la expresión:

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

R mín.: Radio Mínimo (m.)

V_p: Velocidad de Proyecto (km/hr.)

e máx.: Peralte máximo (m/m)

f: coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a V_p.

El radio mínimo para el diseño del Proyecto es de 50 metros, como se puede apreciar en la tabla siguiente.

Tabla 17: Radio mínimo

Camino de desarrollo			
V _p (km/hr.)	e máx. (%)	f	R min.(m)
30	7	0.215	25
40	7	0.198	50
50	7	0.182	80
60	7	0.165	120
70	7	0.149	180
80	7	0.132	250

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

2.4.1.9 SOBREENCHO EN CURVAS CIRCULARES.-

Se deberá ensanchar la calzada con el objeto de ofrecer condiciones de seguridad entre vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales.

Como mínimo se considerarán ensanches para dos vehículos tipo con $L_o = 9,5$ m. Según sean las características del trazado y función que preste la ruta.

Tabla 18: Ensanche de la calzada e (m) (permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo)

CALZADA EN RECTA 6m. $0.35m \leq E \leq 3.20$ m. $h_1=0.45m$ $h_2=0.05m$					
Camión Unid. Simple Lt=11 m.	$L_o = 9.5$	$(L_o^2/R)+0.15$	55 E	0.45 E	$30 \leq R \leq 450$

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

Lt = Largo Total del Vehículo.

L_o = Distancia entre parachoques delantero y último eje trasero.

El Ensanche Total “E (m)” se limitará a un máximo de 3,20 m y un mínimo de 0,35 m en calzadas de 6,0 m.

Si el ensanche interno calculado ≤ 0.35 m, se adopta ensanche externo = 0 y se da todo el ensanche al interno.

El detalle de los sobre anchos se muestran en anexo 5.

- **Desarrollo del sobreencho.-**

Un desarrollo de 40 m. en la recta precedente a la curva resulta adecuado cualquiera que sea la magnitud del ensanche y, si el tramo recto es de menor longitud, el ensanche deberá desarrollarse en la longitud existente, la que en todo caso se procurará no sea menor de 30 m.

Si la curva de transición es menor de 40 m el desarrollo del sobreencho se ejecutará en la longitud de arco de enlace disponible.

2.4.1.10 PARÁMETRO “A” Y LONGITUD DE LA CURVAS DE TRANSICIÓN.-

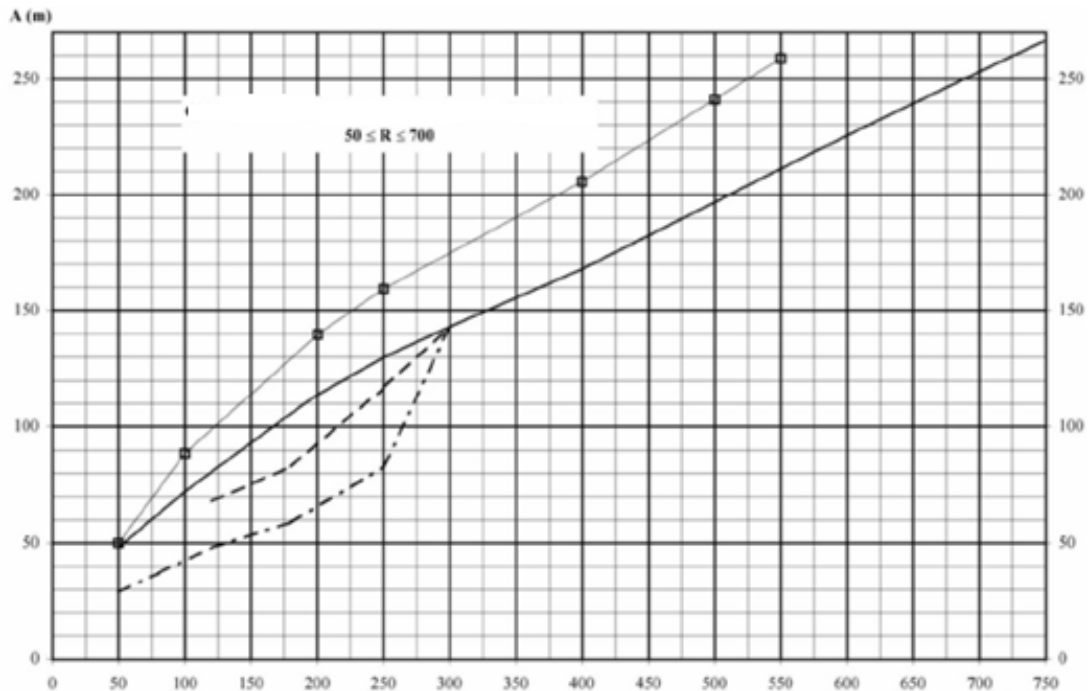
La ecuación de la curva de transición, está dada por la expresión.

$$R * L = A^2$$

L: Desarrollo de la curva, desde el origen hasta el punto de radio, (m).

A: Parámetro de la curva de transición, (m).

Tabla 19: Parámetro de la curva de transición



Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

- Se evitará el uso de esta curva de transición si, $R > 95$ m.

Tabla 20: Radio a partir de los cuáles se puede evitar el uso de curvas de transición

Velocidad de proyecto (km/h)	RADIO MÁXIMO (m)
30	54
40	95
50	148
60	213
70	290
80	379
90	480
110	592
120	852

Fuente: AASHTO-1994

2.4.1.11 SECCIÓN TIPO.-

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

El ancho de la vía depende de la capacidad de tránsito, las dimensiones máximas de los vehículos y la velocidad de los mismos siendo, así el elemento más importante de la sección transversal es la calzada.

Dimensiones adoptadas:

Ancho de carril (a) = 3.0 metros

Derecho de vía = 50 metros

Berma (b) = 0.5 metros

Sobre anchos de plataforma (SAP) = 0.5 metros

Dimensiones establecidas de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 21: Resumen de secciones transversales tipo

NÚMERO DE CALZADA Y CATEGORÍA		VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	ANCHO DE CARRIL a (m)	ANCHO DE BERMAS (b)		ANCHO SAP		ANCHO TOTAL DE PLATAFORMA A NIVEL DE RASANTE
				Interior (m)	Exterior (m)	Interior (m)	Exterior (m)	2 carril
CALZADA BIDIRECCIONAL	DESARROLLO	50	3.0-3.5	-	0.5-1.0	-	0.5	8.0-10.0
		40	3.0	-	0.0-0.5	-	0.5	7.0-8.0
		30	2.0-3.0	-	0.0-0.5	-	0.5	5.0-6.0

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

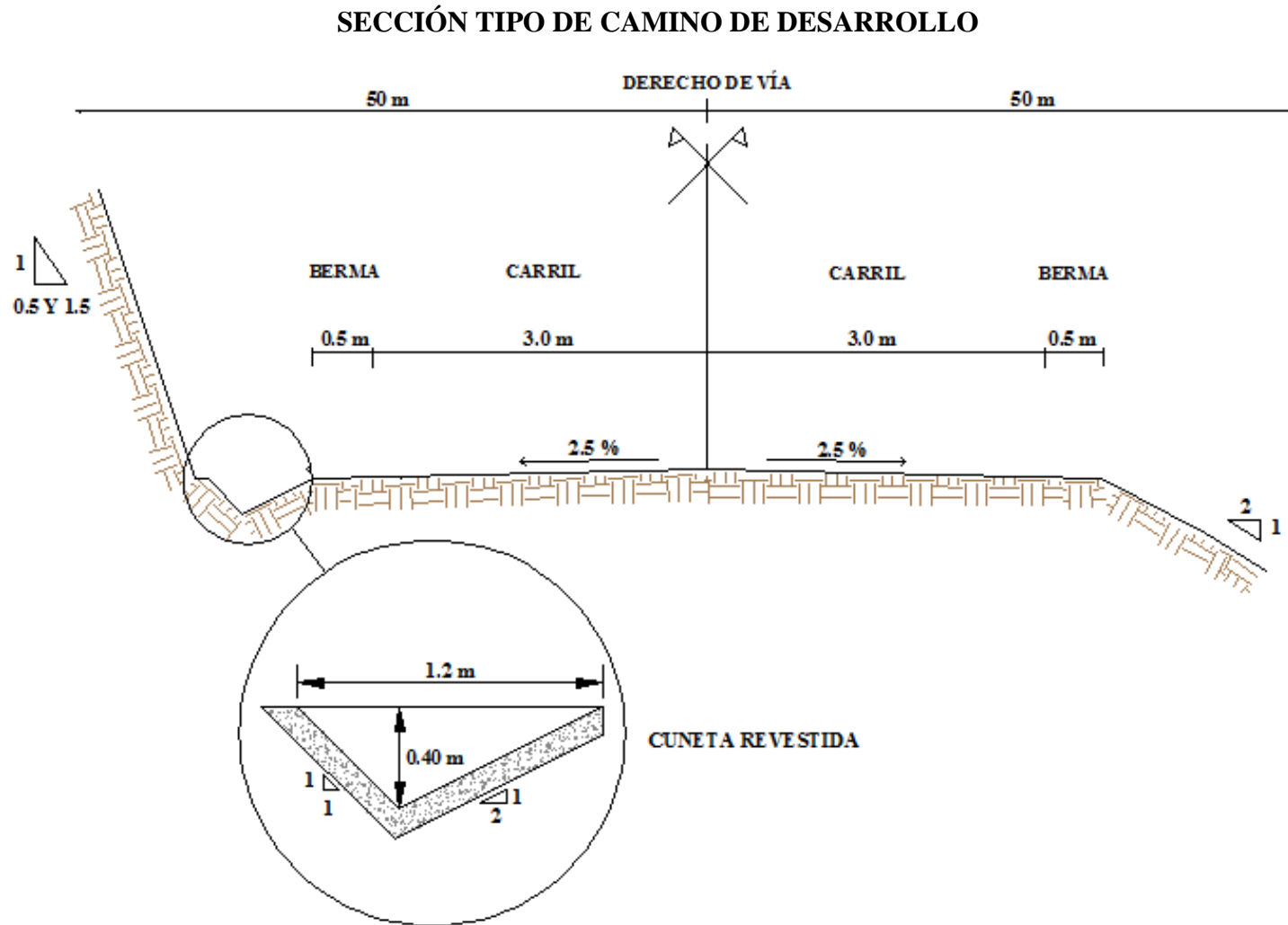


Figura 12: Sección tipo

2.4.1.12 TALUD DE CORTE Y RELLENO.-

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

El cálculo de estabilidad del talud se amplía en la sección de diseños complementarios

El talud de corte utilizado en el diseño del Proyecto es:

Tabla 22: Talud de Corte

Prog. Inicial	Prog. Final	Talud	Características Geotécnicas
0+000	4+300	1V:1/2H	Limos Inorgánicos y arenas muy finas limosas o arcillas, con baja plasticidad.
4+300	5+056	1V:1.5H	Arenas Limosas

Fuente: Elaboración Propia

Cuando un camino se emplaza en terraplén, los materiales de éste provendrán de las excavaciones hechas en otros puntos del trazado.

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

El talud de relleno utilizado en el diseño del Proyecto, es de 1:2 (V: H) de acuerdo a la estabilidad de Taludes.

El análisis se detallará en la sección diseño complementario.

2.4.1.13 LAS BERMAS.-

Son fajas laterales a la superficie de rodadura de un camino que en tramos en tangente tienen la misma inclinación y en tramos en curvas el mismo peralte siendo estos elementos de seguridad para los vehículos, sirviendo de estacionamiento para los vehículos que se detienen como también facilitando el paso y dando protección lateral a la superficie de rodadura.

2.4.1.14 SOBREENCHOS DE PLATAFORMA (SAP).-

El sobreencho de plataforma mínimo es de 0.5 metros que permite confinar las capas subbase y base de tal manera que la parte exterior de la berma pueda alcanzar el nivel de compactación especificado.

Tabla 23: Pendiente transversal del SAP

SIEMPRE	PENDIENTE TRANSVERSALES DEL SAP
En recta	is (siempre) = -10%
Zona transición peralte	Para $b \leq e \leq 0.0$; is = -10%
Extremo alto de la plataforma	Para $0.0 < e \leq 3\%$; is = $-(10-2e)\%$ Para $e > 3\%$; is = -4%
Extremo bajo de la plataforma	Para todo e ; is = -10%

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

2.4.1.15 BOMBEO.-

EL propósito del bombeo es evacuar las aguas superficiales de la calzada, el bombeo que debe emplearse depende de la intensidad de lluvia y clase de superficie.

Tabla 24: Pendiente Transversal de la Calzada

Tipo de superficie	PENDIENTE TRANSVERSAL	
	$I \leq 15\text{MM}/\text{H}$	$I > 15\text{MM}/\text{H}$
PAV. DE HORMIGÓN O ASFALTO	2%	2.5%
TRATAMIENTO SUPERFICIAL	3%	3.5%
TIERRA, GRAVA, CHANCADO	3-3.5%	3.5-4%

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

2.4.1.16 LONGITUD MÍNIMA DE CURVAS VERTICALES.-

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

$$2*T \text{ (m)} \geq | V_p \text{ (km/h)} |$$

Dónde:

T: longitud de la curva (m).

V_p: Velocidad de proyecto (km/hr.)

2.4.1.17 PENDIENTES MÍNIMAS Y MÁXIMAS.-

La pendiente longitudinal mínima en el alineamiento es de 0,5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un buen drenaje, pero si la calzada posee un bombeo de 2.5% se podrán aceptar pendientes de hasta 0.20%.

La selección de la pendiente longitudinal máxima está relacionada con la categoría de la vía y velocidad de proyecto, como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 25: Pendiente máxima de la rasante

CATEGORIA	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)									
	≤ 30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	9 -12	10 - 9	9	-	-	-	-	-	-(1)	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4.5	-	-
Autorutas	-	-	-	-	-	6	5	4.5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4.5	-	-

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (ABC)

2.4.1.18 PLANILLA DE PARÁMETROS DE DISEÑO.-

Tabla 26: Resultado de los parámetros de diseño

TIPO DE TOPOGRAFÍA: ONDULADO MEDIO		
ALINEAMIENTO EN PLANTA		
Velocidad de proyecto (Vp):	40	Km/h
Coefficiente de fricción transversal máximo (f):	0.198	
Coefficiente de roce rodante (f1):	0.415	
Bombeo (b):	2.5	%
Peralte máximo (e max.):	7	%
Radio mínimo (R min.):	50	m
Sobreechancho (E):	1.95	m
Distancia de frenado (Df):	38	m
Distancia de adelantamiento mínimo (Da):	240	m
Distancia de visibilidad en curvas (a max.):	4.40	m
Longitud máxima en rectas (L max.):	800	m
Longitud mínima tramos intermedios (Lr min.):	56	m
Longitud mínima en curvas del mismo sentido (Lr min.):	55	m
LINEAMIENTO EN PERFIL		
Pendiente mínima :	0.2	%
Pendiente máxima :	10	%
Longitud mínima en curvas verticales (L min):	40	m

Fuente: Elaboración Propia

2.4.2 GEOMETRÍA EN PLANTA.-

Es el trazado del camino donde trata de analizar la ubicación de la proyección del eje longitudinal que es una sucesión de rectas y curvas, que conforman la geometría particular.

2.4.2.1 ALINEAMIENTO.-

Consiste en dibujar una línea sobre el plano digitalizado de curvas de nivel y representa al eje del camino, con la ayuda del programa AutoCAD Civil 3D se realiza esta operación.

El trazado se verificará tratando de que el alineamiento quede dentro de la faja de levantamiento topográfico, tomando en cuenta las restricciones de tipo social y técnico.

2.4.2.2 ENLACE CON CURVAS HORIZONTALES.-

Son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas.

En la siguiente figura se ilustran los elementos asociados a una curva circular.

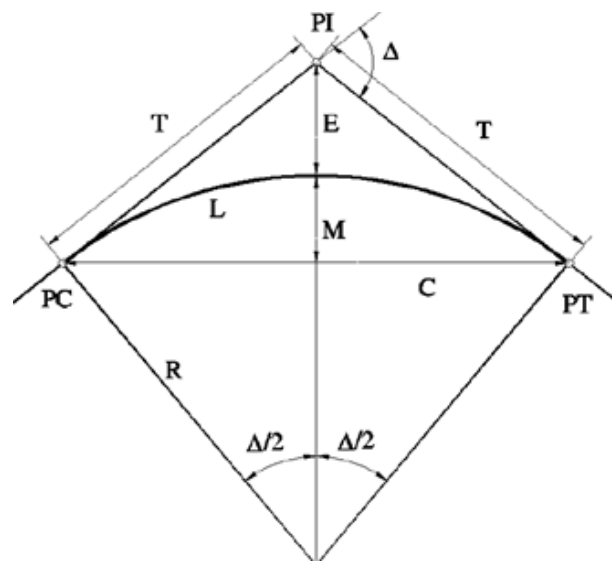


Figura 13: Elementos de curva circular

Longitud de Tangente:	$T = R * \tan \frac{\Delta}{2}$
Longitud de cuerda:	$C = 2 * R * \sen \frac{\Delta}{2}$
Flecha:	$M = R * (1 - \cos \frac{\Delta}{2})$
Externa:	$E = R * \left(\sec \frac{\Delta}{2} - 1 \right) = R * \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right)$
Long de curva:	$L = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$

$$\text{Prog PC} = \text{Prog. PI} - T$$

$$\text{Prog PT} = \text{Prog. PC} + L$$

PI = Punto de Intersección

PC = Punto de Curvatura

PT = Punto de Tangencia

Δ = Angulo de Deflexión

Elementos de la curva de transición:

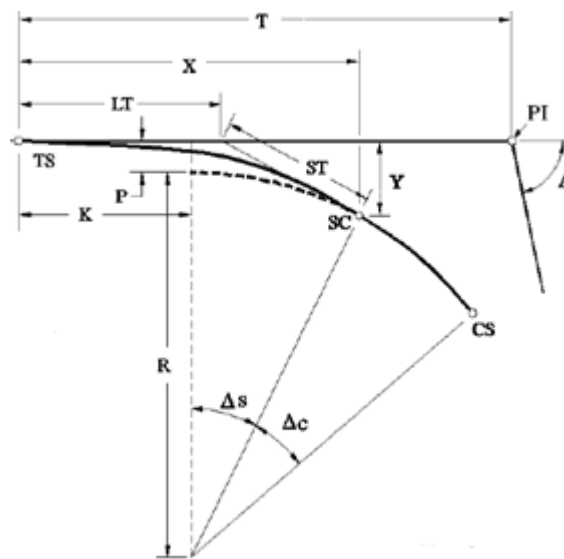


Figura 14: Elementos de curva de transición

Desplazamiento: $P = \frac{L^2}{24 \cdot R}$ debe ser mayor a 0.25 m.

Ángulo de la espiral: $\Delta_s = \frac{90 \cdot L}{\pi \cdot R}$ en grados.

Punto de desplazamiento: $K = \frac{L}{2} - \frac{L^2}{240 \cdot R^2}$

Distancia al eje: $TS = (R + P) \cdot \left(\tan \frac{\Delta}{2} \right) + K$

Tangente larga: $LT = X_p - \frac{Y_p}{\tan\Delta_s}$

Tangente corta: $ST = \frac{Y_c}{\text{sen}\Delta_s}$

Distancia, en la dirección de la tangente, desde el comienzo hasta el final del espiral:

$$X_p = L - \frac{L^3}{40 * R^2}$$

Distancia, perpendicular a la tangente, desde el comienzo hasta el final del espiral:

$$Y_p = \frac{L^2}{6 * R} - \frac{L^4}{336 * R^3}$$

$$\text{Prog TS} = \text{Prog. PI} - \text{TS}$$

$$\text{Prog SC} = \text{Prog. TS} + L$$

$$\text{Prog CS} = \text{Prog. SC} + L_c$$

Dónde:

Δ = Ángulo delta total

TS = Punto Tangente a Espiral

SC = Punto Espiral a Curva

PI = Punto de Intersección

L = Longitud de Espiral

2.4.2.2 DIMENSIONAMIENTO.-

Tabla 27: Resultado del diseño en planta

CURVA # 1		
CURVA CIRCULAR CON TRANSICIÓN		
	TS: 0+048.23	ST: 0+092.85
V _p =	40 km/h	
e =	6.8 %	
f =	0.198	
R _{min} =	50 m	
ELEMENTOS DE LA CURVA DE TRANSICIÓN		
Ve =	44.60 km/h	Velocidad Específica
R =	60.00 m	Radio de la Curva Circular
Δ _c =	8.23 g°	Deflexión de la curva circular
A =	32.86 m	Parámetro de la transición
L =	18.00 m	Longitud de la Espiral
Δ _s =	8.59 g°	Ángulo de deflexión espiral
Δ =	25.42 g°	Ángulo de deflexión
COORDENADAS		
X _p =	17.96 m	
Y _p =	0.90 m	
p =	0.22 m	
k =	8.99 m	
LT =	12.01 m	
ST =	6.01 m	

Fuente: Elaboración propia

El diseño en planta de las demás curvas horizontal se puede apreciar en anexo 5.

Tabla 28: Planilla de elementos de curva circular

#	PC	PI	PT	SENTIDO	Δc	R	L	C	E	M
1	0+066.23	0+70.55	0+074.85	IZQUIERDA	8.23	60	8.62	8.61	0.16	0.15
2	0+252.18	0+261.43	0+270.63	IZQUIERDA	10.57	100	18.45	18.42	0.43	0.43
3	0+323.80	0+330.67	0+337.51	DERECHA	8.27	95	13.72	13.70	0.25	0.25
4	0+497.13	0+516.31	0+534.77	DERECHA	26.95	80	37.63	37.29	2.27	2.20
5	0+677.18	0+682.89	0+688.68	IZQUIERDA	8.71	75	11.40	11.39	0.22	0.22
6	0+811.60	0+826.00	0+840.36	IZQUIERDA	8.24	200	28.75	28.73	0.52	0.52
7	1+241.98	1+251.34	1+260.65	DERECHA	10.70	100	18.67	18.64	0.44	0.44
8	1+306.38	1+323.33	1+339.07	DERECHA	37.45	50	32.68	32.10	2.79	2.65
9	1+403.51	1+433.79	1+457.96	IZQUIERDA	62.40	50	54.45	51.80	8.45	7.23
10	1+518.61	1+539.42	1+559.64	IZQUIERDA	23.51	100	41.03	40.74	2.14	2.10
11	1+670.62	1+684.67	1+698.67	IZQUIERDA	8.04	200	28.05	28.03	0.49	0.49
12	1+865.39	1+884.61	1+903.36	DERECHA	21.75	100	37.97	37.74	1.83	1.80
13	1+955.06	1+984.33	2+010.06	IZQUIERDA	48.48	65	55.00	53.37	6.28	5.73
14	2+152.02	2+181.43	2+205.19	DERECHA	60.92	50	53.17	50.70	8.01	6.90
15	2+396.34	2+405.57	2+414.72	IZQUIERDA	12.39	85	18.38	18.34	0.50	0.50
16	2+544.23	2+550.97	2+557.69	IZQUIERDA	8.12	95	13.46	13.44	0.24	0.24
17	2+593.04	2+599.68	2+606.24	IZQUIERDA	15.12	50	13.20	13.16	0.44	0.43
18	2+669.28	2+690.45	2+709.33	DERECHA	45.89	50	40.05	38.99	4.30	3.96
19	2+788.45	2+799.96	2+811.37	IZQUIERDA	13.13	100	22.92	22.87	0.66	0.66
20	2+864.02	2+889.09	2+913.04	IZQUIERDA	29.57	95	49.02	48.48	3.25	3.14
21	2+934.84	2+939.43	2+944.01	DERECHA	8.08	65	9.17	9.16	0.16	0.16
22	2+962.89	2.982.08	3+000.76	IZQUIERDA	22.84	95	37.87	37.61	1.92	1.88
23	3+115.43	3+117.20	3+118.96	IZQUIERDA	3.12	65	3.54	3.53	0.02	0.02
24	3+153.78	3+192.13	3+226.68	DERECHA	43.96	95	72.89	71.12	7.45	6.91
25	3+243.86	3+245.92	3+247.97	IZQUIERDA	3.62	65	4.11	4.11	0.03	0.03
26	3+265.06	3+315.33	3+358.21	DERECHA	53.37	100	93.15	89.82	11.92	10.65
27	3+528.56	3+542.64	3+556.52	IZQUIERDA	16.87	95	27.96	27.86	1.04	1.03
28	3+604.54	3+613.08	3+621.46	DERECHA	19.39	50	16.92	16.84	0.72	0.71
29	3+744.18	3+768.08	3+791.01	IZQUIERDA	28.24	95	46.83	46.36	2.96	2.87
30	3+810.38	3+817.96	3+825.46	DERECHA	13.29	65	15.08	15.05	0.44	0.44
31	3+896.32	3+915.87	3+934.94	DERECHA	22.13	100	38.62	38.38	1.89	1.86
32	3+965.49	4+024.30	4+052.11	IZQUIERDA	99.26	50	86.62	76.19	27.19	17.61
33	4+119.33	4+123.05	4+126.75	IZQUIERDA	8.50	50	7.42	7.41	0.14	0.14
34	4+180.51	4+184.76	4+188.98	DERECHA	9.70	50	8.47	8.46	0.18	0.18
35	4+270.74	4+284.93	4+298.39	DERECHA	31.69	50	27.65	27.30	1.97	1.90
36	4+490.76	4+510.72	4+530.15	IZQUIERDA	22.57	100	39.39	39.13	1.97	1.93
37	4+604.89	4+613.16	4+621.39	DERECHA	9.95	95	16.50	16.48	0.36	0.36
38	4+721.76	4+731.33	4+740.85	IZQUIERDA	10.94	100	19.09	19.06	0.46	0.46
39	4+824.74	4+831.00	4+837.20	DERECHA	14.28	50	12.46	12.43	0.39	0.39
40	4+958.75	4+970.04	4+981.24	IZQUIERDA	12.89	100	22.49	22.44	0.64	0.63

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29: Planilla de elementos de curvas de transición

Progresiva			CURVA DE TRANSICIÓN									
#	TS	ST	A	Δs	L	X	Y	P	K	LT	ST	TS
1	0+048.23	0+092.85	32.86	8.5942	18	17.96	0.90	0.22	8.99	12.01	6.01	17.90
4	0+479.13	0+552.77	37.95	6.4457	18	17.98	0.67	0.17	9.00	12.01	6.01	33.05
5	0+661.18	0+704.58	34.64	6.1115	16	15.98	0.57	0.14	8.00	10.67	5.34	17.77
8	1+288.38	1+357.07	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	31.25
9	1+385.51	1+475.96	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	45.99
13	1+938.06	2+027.06	33.24	7.4927	17	16.97	0.74	0.19	8.50	11.34	5.68	43.13
14	2+134.02	2+223.19	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	45.01
15	2+378.34	2+432.72	39.12	6.0665	18	17.98	0.63	0.16	9.00	12.01	6.01	22.83
17	2+575.04	2+624.24	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	20.34
18	2+651.28	2+727.33	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	35.83
21	2+917.85	2+961.01	33.24	7.4927	17	16.97	0.74	0.19	8.50	11.34	5.68	17.41
23	3+098.43	3+135.96	33.24	7.4927	17	16.97	0.74	0.19	8.50	11.34	5.68	14.55
25	3+226.71	3+264.83	33.24	7.4927	17	16.97	0.74	0.19	8.50	11.34	5.68	14.84
28	3+586.54	3+639.46	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	22.32
30	3+793.38	3+842.46	33.24	7.4927	17	16.97	0.74	0.19	8.50	11.34	5.68	20.45
32	3+947.49	4+070.11	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	80.22
33	4+101.33	4+144.75	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	17.32
34	4+162.51	4+206.98	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	17.86
35	4+252.74	4+316.39	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	28.29
39	4+806.74	4+855.20	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	19.95

Fuente: Elaboración Propia

2.4.3 GEOMETRÍA EN PERFIL.-

Es la proyección sobre un plano vertical del trazado en planta a esta línea se la denomina subrasante, las pendientes que se adapten para esta no deben sobrepasar al 10%, es necesario que el cambio se realice gradualmente para esto se usan las llamadas curvas verticales.

2.4.3.1 ENLACE CON CURVAS VERTICALES.-

Después de haber definido la subrasante en el perfil longitudinal, corresponde el diseño de curvas verticales, que sirven para pasar gradualmente de un tramo a otro con diferentes pendientes.

Toda vez que el valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida sea mayor o igual que 0.5%, se deberá proyectar una curva vertical para enlazar las rasantes.

Ecuación paramétrica de la curva vertical

$$L_v = 2T$$

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

Dónde:

θ : Diferencia algebraica de las pendientes

K: Parámetro de la curva vertical

2T: Longitud de la curva (m.)

i_1 y i_2 : (+) Pendiente de Subida, (-) Pendiente de Bajada

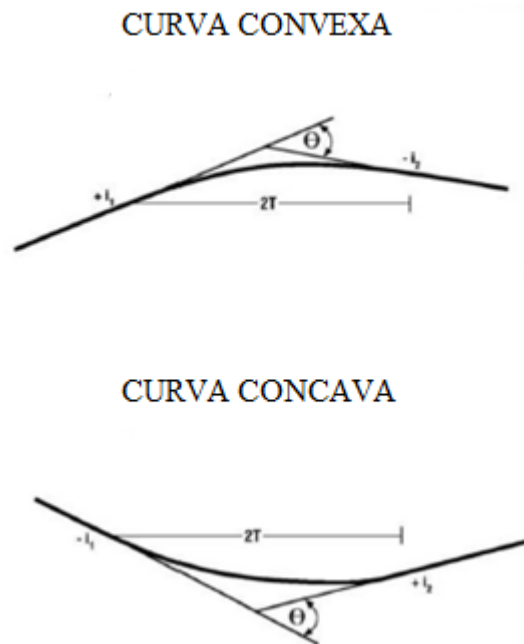


Figura 15: Curva vertical

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

$$K = 2 * T \text{ mínimo} / \theta = V_p / \theta$$

2.4.3.1.1 DIMENSIONAMIENTO.-

Tabla 30: Resultado del diseño en perfil

CURVA # 1	
CURVA VERTICAL CONVEXA	
Estación (m)	Elevación (m)
PCV: 0+078.09	545.002m.
PIV: 0+098.09	546.424m.
FCV: 0+118.09	546.572m.
$V_p = 40$ km/hr.	Velocidad de Proyecto
$f_1 = 0.415$	Coeficiente de fricción
$t = 2$ s	Tiempo de reacción y percepción
$i_1 = 7.11\%$	Pendiente de Entrada
$i_2 = 0.74\%$	Pendiente de Salida
$D_f = 38$ m	Distancia de frenado
CONDICIÓN DE DISEÑO	
$\theta = 6.36\%$	> 0.50%
Cumple la condición mínima de diseño	
$K_v = 6.29$ m	
$L_{min} = 40$ m	

Fuente: Elaboración propia

Las curvas verticales se detallaran en Anexo 5.

2.4.3.1.2 PLANILLA DE ELEMENTOS.-

Tabla 31: Resultado del diseño en perfil

PLANILLA DE ELEMENTOS								
Nº	Curva	Tipo	Vp (km/h)	i 1	i 2	Ø	k	L (m)
1	Convexa	Simétrica	40	7.11%	0.74%	6.36%	6.29	40.00
2	Cóncava	Simétrica	40	0.74%	9.44%	8.70%	4.69	40.75
3	Convexa	Simétrica	40	9.44%	1.48%	7.96%	5.03	40.00
4	Convexa	Simétrica	40	1.48%	-6.07%	7.55%	5.30	40.00
5	Cóncava	Simétrica	40	-6.07%	-0.84%	5.23%	7.65	40.00
6	Cóncava	Simétrica	40	-0.84%	-0.20%	0.64%	62.60	40.00
7	Cóncava	Simétrica	40	-0.20%	3.88%	4.08%	9.81	40.00
8	Convexa	Simétrica	40	3.88%	1.82%	2.06%	19.45	40.00
9	Cóncava	Simétrica	40	1.82%	9.30%	7.48%	5.35	40.00
10	Convexa	Simétrica	40	9.30%	2.27%	7.03%	5.69	40.00
11	Convexa	Simétrica	40	2.27%	-3.85%	6.12%	6.53	40.00
12	Cóncava	Simétrica	40	-3.85%	-0.51%	3.34%	11.97	40.00
13	Cóncava	Simétrica	40	-0.51%	7.05%	7.56%	5.29	40.00
14	Convexa	Simétrica	40	7.05%	-0.52%	7.58%	5.28	40.00
15	No se diseña	-	40	-0.52%	-0.49%	0.03%	-	-
16	Convexa	Simétrica	40	-0.49%	-1.27%	0.78%	51.45	40.00
17	Cóncava	Simétrica	40	-1.27%	0.20%	1.74%	27.22	40.00
18	Cóncava	Simétrica	40	0.20%	3.52%	3.32%	12.03	40.00
19	Convexa	Simétrica	40	3.52%	1.28%	2.24%	17.83	40.00

Fuente: Elaboración Propia

Dónde:

PCV: Principio de curva vertical.

PIV: Punto de inflexión curva vertical.

FCV: fin de curva vertical.

2T: Proyección horizontal de las tangentes a la curva de enlace.

2.5 MOVIMIENTO DE TIERRAS.-

2.5.1 INTRODUCCIÓN.-

Los movimientos de tierra consisten en la cuantificación de los volúmenes tanto en corte como terraplén. En obras de construcción de caminos los procedimientos para medir volúmenes de tierra y terreno a excavar, transportar, colocar en sitio, compactar son similares.

2.5.2 CÁLCULO DE ÁREAS ENTRE SECCIONES.-

El principal método empleado es el analítico, que consiste en el cómputo de las áreas por coordenadas, es decir basados en coordenadas de los puntos que definen el contorno de la superficie usado cuando la sección es bastante irregular, es la base de los métodos computarizados y que es adoptado por AutoCAD Civil 3D 2013.

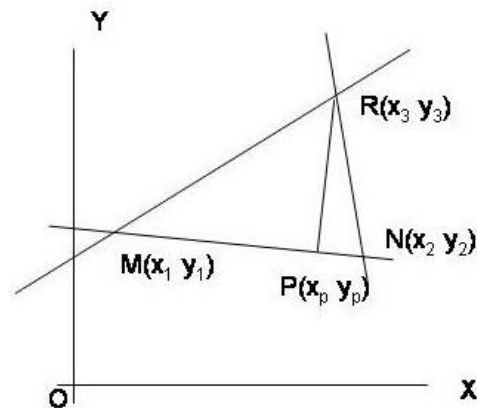


Figura 16: Gráfica del método analítico para el cálculo de áreas

$$\text{Área} = \frac{1}{2} * ((Y1 * X2 + \dots + Yn * X1) - (X1 * Y2 + \dots + Xn * Y1))$$

2.5.3 DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES DEL MOVIMIENTO DE TIERRA.-

El cálculo de volúmenes se obtiene de las áreas, el método más utilizado es el de la semisuma o áreas medias que es adoptada por el programa computarizado.

Método de las áreas Medias:

Casos particulares

$$\text{Volumen "CORTE - CORTE"} \quad V_c = \frac{(A_{c1} + A_{c2}) * L}{2}$$

$$\text{Volumen "RELLENO - RELLENO"} \quad V_r = \frac{(A_{r1} + A_{r2}) * L}{2}$$

$$\text{Volumen "RELLENO - CORTE"} \quad V_c = \frac{A_c^2 * L}{2 * (A_r + A_c)}$$

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

Dónde:

A_r : Área de corte (m^2)

A_c : Área de relleno (m^2)

L : Longitud entre progresivas (m.)

Secciones mixtas

$$\text{Caso "CORTE o RELLENO"} \quad S = \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right)^2$$

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

$$\text{Caso "MIXTAS"} \quad e = \frac{1}{3} * (\pm x \pm a \pm d)$$

$$\text{Coeficiente de curvatura} \quad C_c = \frac{L}{2 * R} * (A_1 e_1 + A_2 e_2)$$

$$\text{Volumen "CURVA"} \quad V_{\text{curva}} = V_{\text{recta}} \pm C_c$$

Dónde:

dd: Distancia del eje al borde derecho (m).

di: Distancia del eje al borde izquierdo (m).

x: Longitud del eje a la intersección de la calzada con el terreno (m).

a: Longitud del carril (m).

R: Radio de la curva (m).

2.5.4 DIAGRAMA DE MASA.-

El diagrama de masas es una gráfica, en el cual las abscisas representan a las progresivas del camino y las ordenadas a los volúmenes acumulados de las terracerías, es en este diagrama donde se analizan los movimientos de tierra para obtener un resultado satisfactorio.

Tabla 32: Factor de abundamiento

MATERIAL	FACTOR DE ABUNDAMIENTO
Tierra negra	1.00 – 1.25
Material arenoso	1.10 – 1.30
Roca suelta	1.30 – 1.40
Roca fija	1.40 – 1.65

Fuente: Vías de Comunicación de Ing. Carlos Crespo V.

Tabla 33: Factor de reducción

MATERIAL	FACTOR DE REDUCCIÓN
Tierra negra	0.98 – 1.00
Material arenoso	0.75 – 0.90
Roca suelta	0.70 – 0.75
Roca fija	0.60 – 0.70

Fuente: Vías de Comunicación de Ing. Carlos Crespo V.

En el anexo 6 se presenta la planilla de la curva masa, sin embargo a continuación se detalla la gráfica obtenida.

CURVA MASA

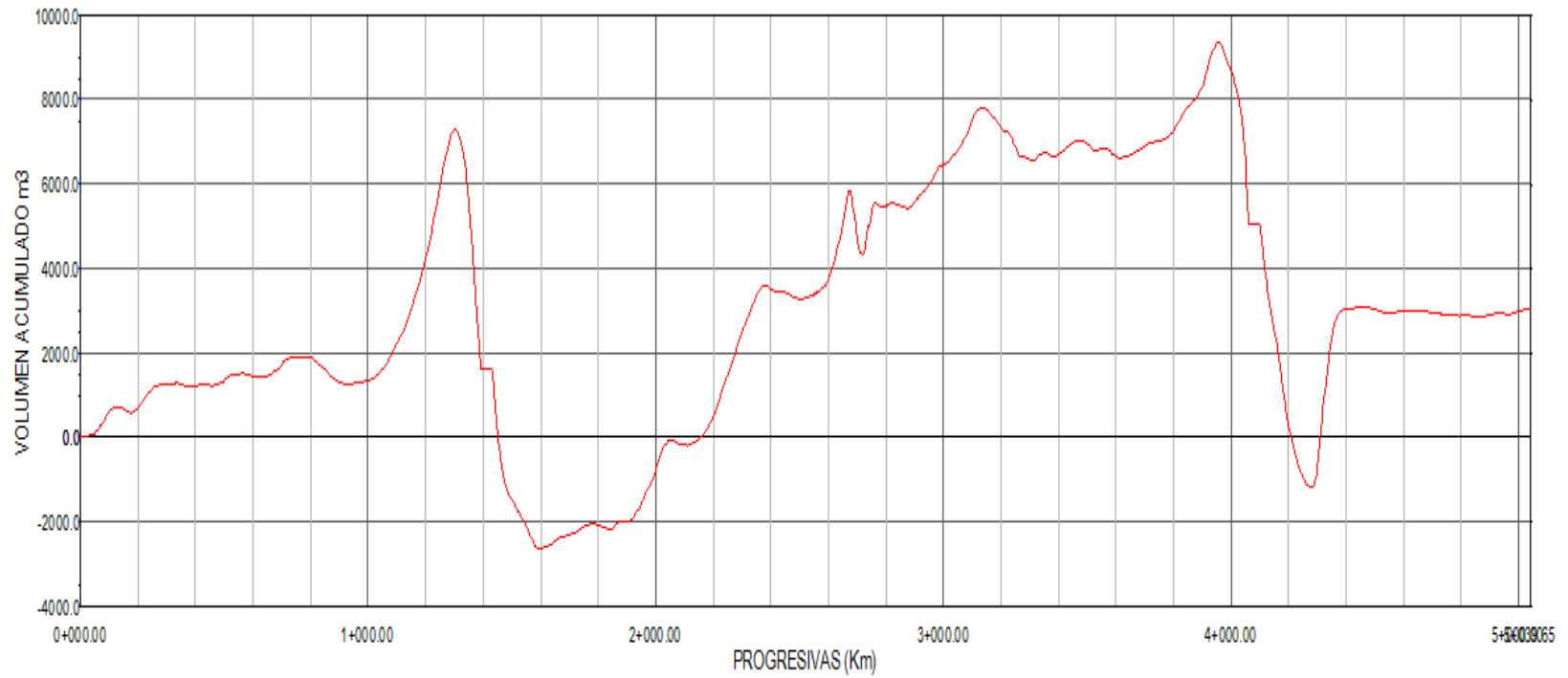


Figura 17: Diagrama de Curva Masa

VOLUMEN ACUMULADO:

Corte (m³): 30,965.90

Relleno (m³): 27,916.50

2.6 DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS DE ARTE.-

2.6.1 CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO.-

El cálculo del caudal de diseño o caudal máximo se calculará mediante el método racional, que servirá para realizar el diseño hidráulico de las estructuras de drenaje.

Coefficiente de escorrentía.- La cantidad de agua que escurre no es igual al que ha precipitado porque parte del agua se infiltra a través del suelo, la proporción de agua precipitada que escurre es conocido como coeficiente de escorrentía “C”

Tabla 34: Coeficiente de escorrentía

Tipo de Terreno	“C”
Pavimentos de Adoquín	0,50 - 0,70
Pavimentos Asfálticos	0,70 - 0,95
Pavimentos en Concreto	0,80 - 0,95
Suelo Arenoso con Vegetación y Pendiente 2% - 7%	0,15 - 0,20
Suelo Arcilloso con Pasto y Pendiente 2% - 7%	0,25 - 0,65
Zonas de Cultivo	0,20 - 0,40

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (ABC)

El área de estudio del proyecto es una zona de cultivo, por tanto se adoptará un coeficiente de escurrimiento de:

$$C = 0.4$$

Método Racional.- Con el valor del coeficiente de escurrimiento (C), intensidades de precipitación (I), y áreas de aporte (A), se procederá al cálculo del caudal máximo mediante el Método Racional.

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

C = Coeficiente de Escorrentía.

i = Intensidad Máxima (mm/hr.)

A = Área de la Cuenca (km²)

Q = Caudal Máximo (m³/s)

2.6.2 CUNETAS.-

Son estructuras localizadas a orillas del camino en las secciones de corte, destinadas a recoger el agua que escurre en la superficie del pavimento, así como la que escurre por los taludes de los cortes. Desaguan en alcantarillas o por medio de canales de salida.

Las condiciones hidráulicas en el dimensionamiento de cunetas serán:

La velocidad mínima aconsejable es de 0.25 m/s para evitar sedimentación, siendo la velocidad máxima admisible de 4.50 m/s, para la cuenta revestida con mampostería de piedra.

Las cunetas se diseñaran de sección transversal triangular porque su erosión es menor y tiene un proceso de construcción más fácil.

2.6.2.1 TALUD INTERIOR DE CUNETAS.-

La inclinación mencionada dependerá, por condiciones de seguridad y Velocidad de Proyecto del camino.

Para velocidad de proyecto ≤ 70 (km/h) según la norma de la A.B.C. (Administradora Boliviana de Carreteras), el talud interior para la cuneta será 1:2 (V: H).

2.6.2.2 DETERMINACIÓN DE LA SECCIÓN HIDRÁULICA.-

Para dimensionar la cuneta se realizó la comprobación del tirante y la velocidad crítica mediante el programa Hcanales 3.0.

Fórmula de manning:

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

Dónde:

Q = Caudal, método racional (m/s).

A = Área (m²).

S = Pendiente (m/m)

P = Perímetro (m)

n = Coeficiente de rugosidad, adimensional

El dimensionamiento de la cuneta será de:

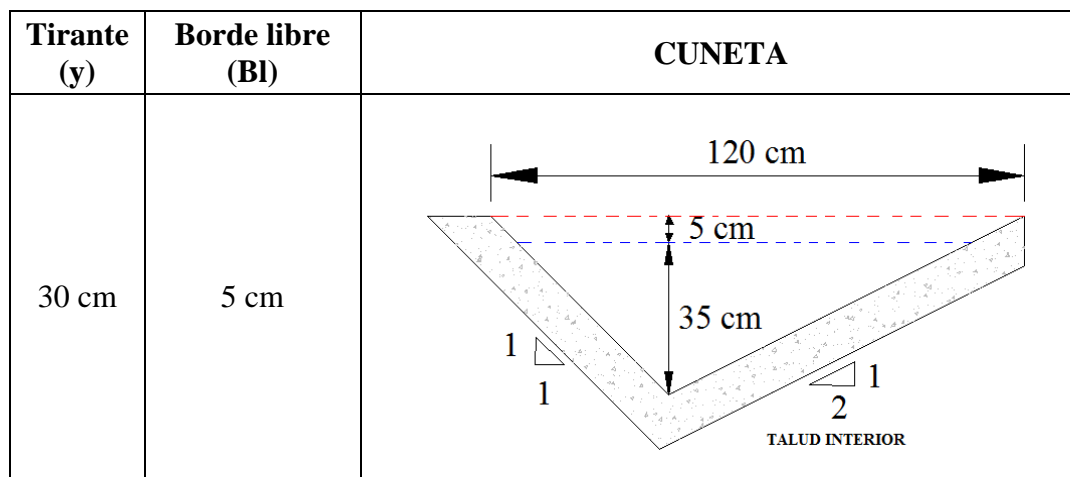


Figura 18: Cuneta

El cálculo hidráulico para el dimensionamiento de la cuneta se aprecia en Anexo 7.

2.6.3 ALCANTARILLAS DE ALIVIO.-

Son estructuras destinadas a recibir el agua de las cunetas, su diámetro para caminos de desarrollo deberá ser 1 m, como mínimo.

Cuando un camino cuenta con cunetas muy largas debido a que va bordeando una loma o ladera, por ejemplo es muy conveniente aliviar la cuneta por lo menos cada 100 m., mediante el empleo de una alcantarilla.

Para el diseño hidráulico se determinó los siguientes aspectos: Material de la alcantarilla de alivio, pendiente longitudinal, tirante igual al 60% del diámetro y una velocidad máxima de 5 m/s.

Finalmente el diámetro de las alcantarillas de alivio fue determinado mediante la ecuación de Manning:

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

Dónde:

Q = (m/s), caudal.

S = (m/m), Pendiente: No menor a 0.5% para evitar sedimentación y 5% como máximo.

n = Rugosidad, 0.024 para metal corrugado.

Debido a que el tubo trabaja al 0,60 del diámetro ($y = 0,6 d$):

$$A = \frac{d^2}{8} (\theta_R - \text{Sen } \theta)$$

$$R = \frac{d}{4} \left(\frac{\theta_R - \text{Sen } \theta}{\theta_R} \right)$$

$$\theta = 2 \text{ Cos}^{-1} \left(1 - \frac{2y}{d} \right)$$

$$\theta_R = \frac{\theta \pi}{180}$$

2.6.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA ALCANTARILLA DE ALIVIO.-

Para dimensionar el diámetro de las alcantarillas se iteró con el programa HCANALES 3.0, basada con la fórmula de manning.

Tabla 35: Resumen de Alcantarillas de Alivio

N°	Progresiva	Q (m ³ /s)	Pendiente S (m/m)	Rugosidad n	Diámetro (m)	Tirante y(m)	Vel. v(m/s)	condición y/d ≤ 0.6
1	1+120	0.223	0.020	0.024	0.60	0.29	1.64	0.5
2	1+220	0.141	0.020	0.024	0.50	0.25	1.46	0.5
3	1+330	0.100	0.020	0.024	0.50	0.20	1.34	0.4
4	2+220	0.303	0.020	0.024	0.60	0.35	1.77	0.6
5	2+320	0.205	0.020	0.024	0.60	0.28	1.61	0.5
6	2+680	0.289	0.020	0.024	0.60	0.34	0.75	0.6
7	3+040	0.187	0.020	0.024	0.50	0.29	1.57	0.6
8	3+140	0.161	0.020	0.024	0.50	0.27	1.51	0.5
9	3+880	0.175	0.020	0.024	0.50	0.28	1.54	0.6
10	4+380	0.320	0.020	0.024	0.60	0.36	1.79	0.6

N°	Progresiva	Diámetro (m)	
		calculado	Asumido
1	1+120	0.60	1.00
2	1+220	0.50	1.00
3	1+330	0.50	1.00
4	2+220	0.60	1.00
5	2+320	0.60	1.00
6	2+680	0.60	1.00
7	30+40	0.50	1.00
8	3+140	0.50	1.00
9	3+880	0.50	1.00
10	4+380	0.60	1.00

Fuente: Elaboración propia

El diámetro comercial para las alcantarillas será de 1m.

2.6.4 ALCANTARILLAS DE CRUCE.-

Son obras de cruce o de drenaje transversal que en algunos subtramos sirven de alivio para que las cunetas evacuen sus aguas. El criterio de diseño es el mismo que las alcantarillas de alivio.

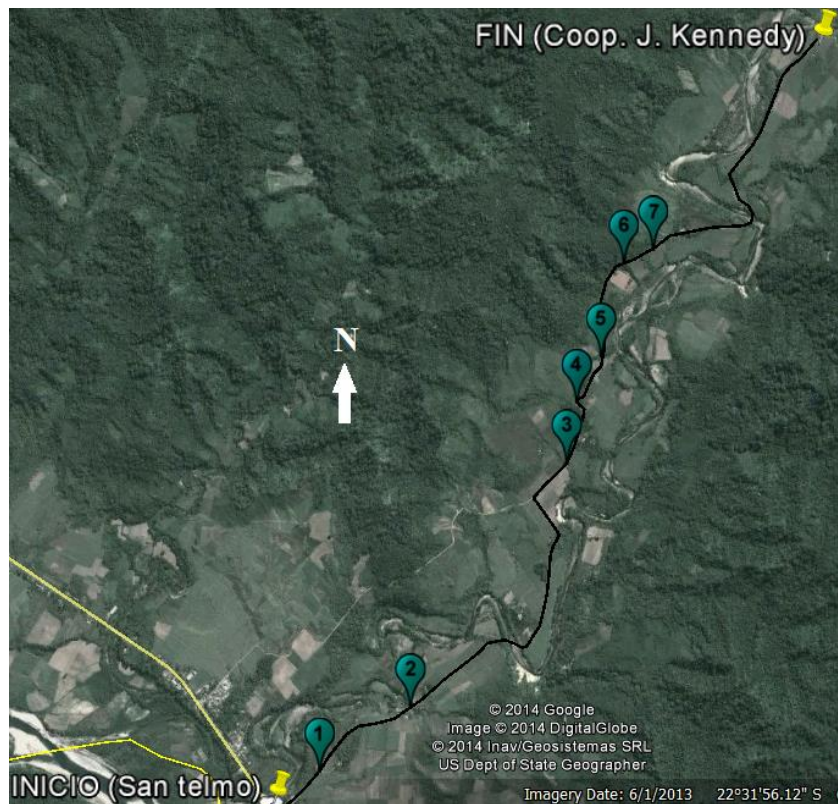


Figura 19: Localización de las alcantarillas de cruce en el camino

2.6.4.1 DIMENSIONAMIENTO DE LAS ALCANTARILLAS.-

Para el diseño hidráulico se determinó los siguientes aspectos: material de las alcantarillas de alivio, pendiente longitudinal de la alcantarilla de cruce y tirante al 60% del diámetro.

PROGRAMA HCANALES: Donde utiliza la Ecuación de manning:

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

DATOS DE ENTRADA:Caudal = 4.35 m³/s

Diámetro= 1.40 m.


Rugosidad = 0.024 (Metal corrugado)

Pendiente = 0.05 m/m

Lugar:	SAN TELMO R. BERMEJO	Proyecto:	Diseno final de Ingenieria
Tramo:	San Telmo-Coop. J. Kennedy	Revestimiento:	Metal corrugado

Datos:

Caudal (Q):	4.35	m ³ /s
Diámetro (d):	1.40	m
Rugosidad (n):	0.024	
Pendiente (S):	0.05	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	0.7903	m	Perímetro mojado (p):	2.3802	m
Area hidráulica (A):	0.8957	m ²	Radio hidráulico (R):	0.3763	m
Espejo de agua (T):	1.3883	m	Velocidad (v):	4.8564	m/s
Número de Froude (F):	1.9304		Energía específica (E):	1.9924	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico				

Calcular	Limpia Pantalla	Imprimir	Menú Principal	Calculadora
----------	-----------------	----------	----------------	-------------

Tabla 36: Resumen de Alcantarillas de Cruce

Nº	Progresiva	Caudal Q (m ³ /s)	Pendiente S (m/m)	Diámetro		Tirante y (m)	Vel. v (m/s)	condición y/d ≤ 0.6
				(m)	Comercial (m)			
1	0 + 241	4.350	0.05	1.40	1.50	0.79	4.85	0.6
2	0 + 797	6.870	0.05	1.50	1.50	1.05	5.00	0.6
3	2 + 390	2.420	0.05	1.10	1.20	0.64	4.19	0.6
4	2 + 711	8.171	0.03	1.90	2 de 1.00	1.12	4.69	0.6
5	2 + 967	6.187	0.05	1.50	1.50	0.94	5.00	0.6
6	3 + 446	5.916	0.05	1.50	1.50	0.94	5.00	0.6
7	3 + 553	5.230	0.03	1.50	1.50	1.00	4.16	0.6

Fuente: Elaboración propia

El diseño de las alcantarillas de cruce a detalle se puede apreciar en Anexo 7.

2.7 DISEÑO DEL PAVIMENTO.-

2.7.1 INTRODUCCIÓN.-

En esta memoria se presenta el diseño del pavimento para el camino “San Telmo Río Bermejo - Coop. J Kennedy“.

El paquete estructural del camino está diseñado de acuerdo a las recomendaciones de la norma AASHTO-93.

2.7.2 FACTORES DE DISEÑO.-

Los factores más importantes para el diseño de las capas de un pavimento son:

El tráfico, propiedades de la subrasante, materiales de construcción y condiciones climáticas.

2.7.3 METODOLOGÍA.-

Por las características de los materiales de la subrasante existentes en el proyecto, el diseño fue realizado en un solo tramo dentro del camino San Telmo Río Bermejo – Coop. J. Kennedy.

Para el tipo de pavimento a elegir se consideraron 2 alternativas:

I. Pavimento flexible

Consiste en el uso de una capa de rodadura de carpeta asfáltica con una vida útil de 15 años.

II. Tratamiento Superficial Doble (T.S.D)

Consiste en el uso de un Tratamiento Superficial Doble con una vida útil de 6 años.

El caso particular de los tratamientos superficiales únicamente es factible para tráfico menor a los 50,000 ejes equivalentes, por tanto no es conveniente diseñar esta alternativa para tráficos elevados o periodos de vida superiores a los 5 a 6 años, puesto que por sus propias características es muy difícil que supere es periodo de vida útil.

2.7.4 DISEÑO DE PAVIMENTO SEGÚN MÉTODO AASHTO VERSIÓN 1993.-

A continuación se describe con detalle los procedimientos seguidos por el método de la AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles de carreteras. Este método establece que la superficie de rodamiento se resuelve con concreto asfáltica.

El diseño está basado primordialmente en identificar un “Número estructural SN” y en función del mismo, se determinan los distintos espesores de capas que forman el paquete estructural. Para determinar el número estructural SN requerido, el método proporciona la ecuación general de diseño de pavimentos flexibles.

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log M_R - 8,07$$

Involucrando las siguientes variables:

- El tránsito en ejes equivalentes acumulados para el período de diseño seleccionado, “W18”.
- El parámetro de confiabilidad, “R”.
- La desviación estándar global, “So”.
- El módulo de resiliencia efectivo, “Mr” del material usado para la subrasante.
- La pérdida o diferencia entre los índices de servicios inicial y final deseados, “ΔPSI”.

La ecuación puede ser resuelta en forma manual, lo cual es muy tedioso. Por esta razón se utilizó el programa computarizado “DIPAV-IBCH 2.0”, sin embargo con la finalidad de entender los principios y fundamentos del método ASSHTO, se explica a detalle la metodología que es utilizada para la obtención de espesores a través de este método, que a la vez son base del funcionamiento del programa computarizado.

A continuación se describirá cada una de las variables que forman parte de esta ecuación de diseño.

2.7.4.1 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO.-

a) Confiabilidad “R”.-

Con el parámetro de Confiabilidad “R”, se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que la sección estructural que se obtenga, durará como mínimo el período de diseño.

El actual método AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles, recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 para el parámetro “R” de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales, notándose que los niveles más altos corresponden a obras que estarán sujetas a un uso intensivo, mientras que los niveles más bajos corresponden a caminos.

El cuadro permite obtener los niveles adecuados de Confiabilidad (R) para diferentes tipos de vías, clasificadas por la AASHTO, según su grado de servicio.

Tabla 37: Niveles Recomendados de Confiabilidad (R)

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
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Manual AASHTO-93

Para el presente proyecto se ha adoptado $R = 80\%$

b) Desviación estándar de las variables “So”.-

La desviación estándar S_o , toma en cuenta la variabilidad asociada con el diseño, construcción y comportamiento del pavimento.

En la tabla 38, se dan los valores para pavimentos flexibles.

Tabla 38: Valores recomendados para la Desviación Estándar (So)

Condición de diseño	Desvío Estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34 pav. Rígidos 0.44 pav. Flexibles
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39 pav. Rígidos 0.49 pav. Flexibles

Fuente: Manual AASHTO-93

Para el presente proyecto se ha adoptado un valor de $S_o = 0.49$

c) Pérdida de serviciabilidad de diseño “ ΔPSI ”.-

La serviciabilidad es la capacidad de un pavimento para servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño de pavimentos se deben elegir la serviciabilidad inicial y final, las que están indicadas a continuación:

Serviciabilidad Inicial

$$P_o = 4,2 \text{ para Pavimentos Flexibles}$$

Serviciabilidad terminal:

$$P_t = 2,0 \text{ para caminos de menor tránsito}$$

Una vez que P_o y P_t son establecidos, la pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño ΔPSI se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Por tanto la perdida de serviciabilidad prevista estimada es $\Delta PSI = 2.2$

d) Estimación de ejes equivalentes (ESALs).-

El procedimiento de diseño para caminos con volúmenes de tráfico bajos está basado en los ESAL's acumulados esperados durante el período de diseño, donde el ESAL (Equivalent Simple Axial Load) es la conversión de las cargas, a un número de

repeticiones de cargas equivalente de un eje simple de ruedas duales de carga estándar de 18,000 lb.

El programa de DIPAV 2.1, proporciona una hoja electrónica muy útil para calcular el número acumulado de ESALs a partir de datos de tráfico, configuración y tipo de eje.

En anexo 3, se detalla la obtención de ejes equivalentes, sin embargo a continuación se presenta el resumen los resultados obtenidos.

Número total de ejes equivalentes Alternativa Carpeta Asfáltica: 154,122

Número total de ejes equivalentes Alternativa T.S.D: 22,415

e) Módulo Resiliente de la Subrasante.-

La base para la caracterización de los materiales de subrasante en este método, es el módulo resiliente. Este módulo se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de ensayos del CBR.

$$M_R \text{ (MPa)} = 17.6 * \text{CBR}^{0.64} \text{ (CBR} < 12\text{)}$$

Con el estudio de suelos y las características similares de los suelos existentes a lo largo del trazo del camino se definió un tramo adquiriendo así a través de procedimiento estadísticos los CBR's de diseño. El valor obtenido es de:

CBR's de diseño = 10.3%, al 95% de la densidad máxima.

El cálculo del CBR de diseño se puede apreciar en el Anexo 8.

A partir de este valor y con las fórmula que mejor se ajusta a los materiales que representan el terreno natural y que correlaciona el módulo resiliente y CBR de diseño, se ha obtenido el módulo resiliente de la capa subrasante.

Tabla 39: Valor de resistencia asignado (MPa)

SUBRASANTE	MÓDULO RESILIENTE OBTENIDO (MPa)
Subrasante (CBR diseño = 10.3%)	78.294

Fuente: Elaboración Propia

2.7.4.2 DETERMINACIÓN DE ESPESORES POR CAPAS.-

Una vez que se ha obtenido el Número Estructural SN para la sección estructural del pavimento, utilizando la ecuación general básica de diseño, (Figura 28) donde se involucraron los parámetros anteriormente descritos (tránsito, R, So, MR, ΔPSI), se requiere ahora determinar una sección multicapa que en conjunto provea de suficiente capacidad de soporte equivalente al número estructural de diseño original. La siguiente ecuación puede utilizarse para adquirir los espesores de cada capa, para la superficie de rodamiento o carpeta, base y sub-base, haciéndose notar que el actual método de AASHTO, ya involucra coeficientes de drenaje particulares para la base y subbase.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Dónde:

SN= Número estructural requerido

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

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

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

Para la obtención de los coeficientes de capa a_1 , a_2 y a_3 deberán utilizarse las Figuras 20 a 22.

2.7.4.2.1 COEFICIENTES ESTRUCTURALES O DE CAPA.-

Estos coeficientes son una medida de la capacidad relativa de cada capa como componente estructural de un pavimento, aunque directamente no sean un índice de la resistencia del material. No obstante a ello, estos coeficientes están correlacionados con distintos parámetros resistentes.

a) Coeficiente Estructural para la Capa de Rodadura “ a_1 ”.-

La figura 20, proporciona un gráfico para estimar el coeficiente estructural para capas asfálticas, donde estos coeficientes “ a_1 ” están en función del módulo resiliente adoptado.

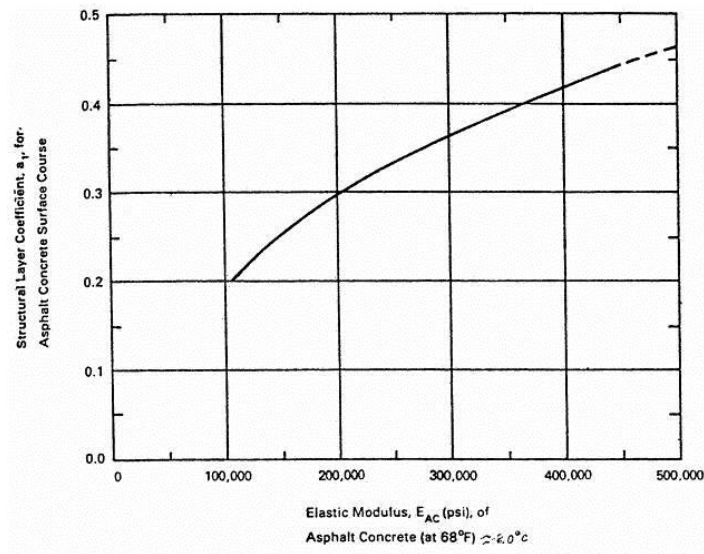


Figura 20: Gráfico para determinar el coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente adoptado

Para un módulo resiliente adoptado de 400,000.0 psi (2,760,000 kpa), se obtiene un coeficiente estructural para la Carpeta Asfáltica de:

$$a_1 = 0.42$$

Para el caso de la alternativa de tratamiento superficial doble el coeficiente estructural de la capa tiene un valor $a_1=0$, ya que el tratamiento superficial no proporciona aporte estructural.

b) Coeficiente Estructural para la Capa Base “a₂”.-

En la figura 21, se muestra el ábaco para determinar el coeficiente estructural “a₂” para bases granulares. Este coeficiente está en función del CBR.

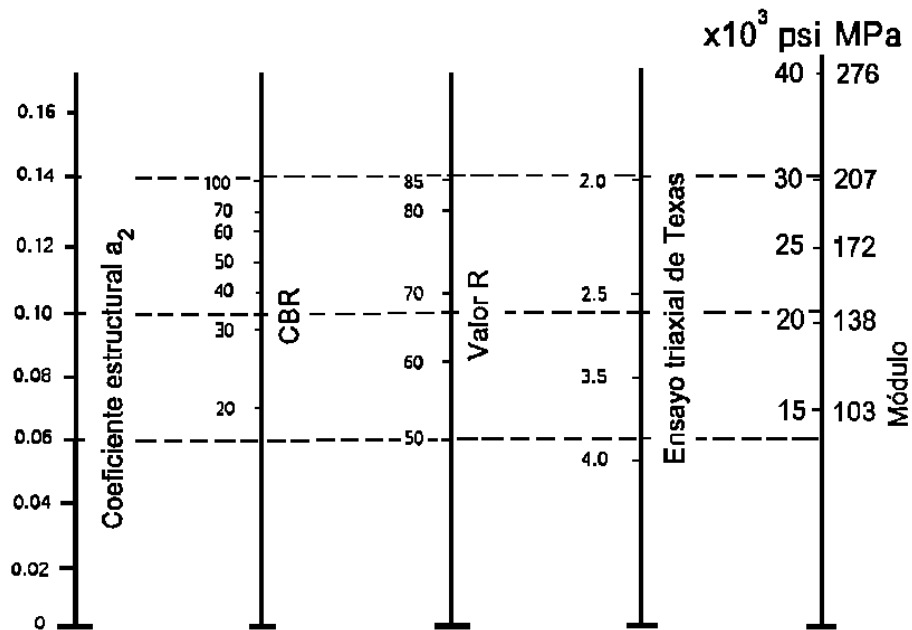


Figura 21: Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes

De esta manera para un CBR igual a 80% adoptado de las exigencias mínimas de las especificaciones técnicas, se tiene el coeficiente estructural para la capa Base Granular:

$$a_2 = 0.133$$

c) Coeficiente Estructural para la Capa Subbase “a₃”.-

Para la estimación del coeficiente de capa “a₃” para subbase granular se utiliza el ábaco de la figura 22, que relaciona el CBR con este coeficiente.

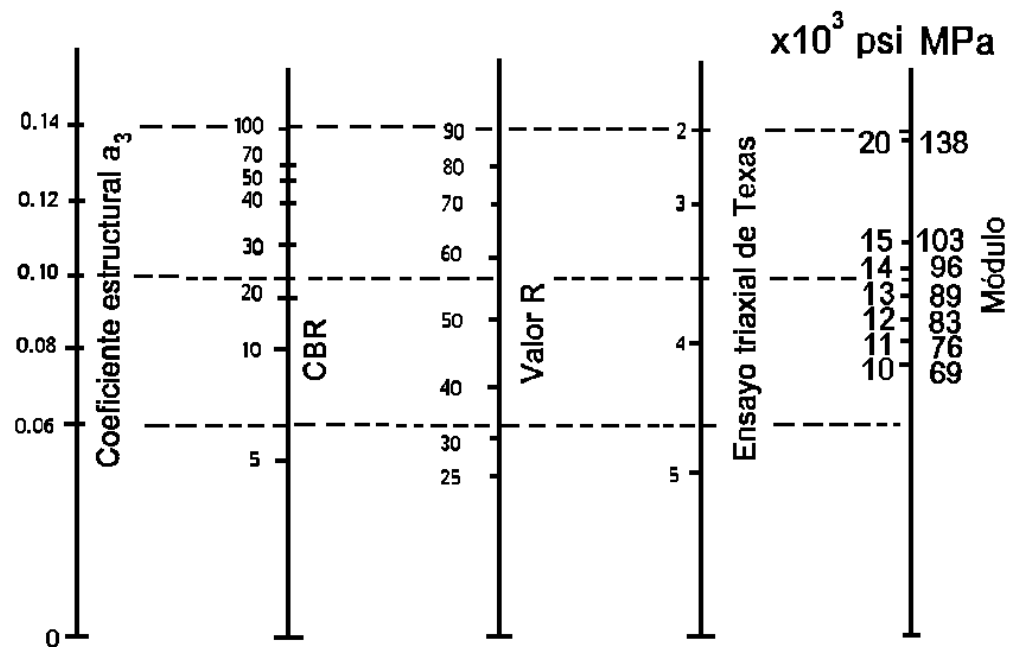


Figura 22: Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes

De esta manera para un CBR igual a 40% adoptado de las exigencias mínimas de las especificaciones técnicas, se tiene el siguiente coeficiente estructural para la capa Sub-base Granular:

$$a_3 = 0.12$$

d) Coeficientes de drenaje “ m_i ”.-

Los coeficientes de drenaje que afectan a las capas no ligadas, tienen por objeto tomar en cuenta los efectos de distintos niveles de eficiencia de drenaje en el comportamiento de la estructura.

Es sabido que un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante (el módulo resiliente aumenta cuando baja el contenido de humedad), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas.

Esta calidad se expresa en la fórmula de dimensionado (Numero estructural) a través de unos coeficientes de drenaje m_i que afectan a las capas no ligadas (Tabla 40)

Tabla 40: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles

CALIDAD DE DRENAJE	% de Tiempo que el pavimento está expuesto a Niveles de Humedad Próximos a la Saturación			
	< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Bueno	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Pobre	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Muy Pobre	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Fuente: Manual Aashto-93

Los valores adoptados de los coeficientes de drenaje considerando una calidad del drenaje regular y del 5% al 25% del tiempo del año expuesto a niveles de humedad, son los siguientes:

- Base Granular $m_2=1.00$
- Sub-base Granular $m_3=0.80$

2.7.4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.-

Como se indicó párrafos arriba, para el presente proyecto en el diseño del pavimento se utilizó el programa computarizado DIPAV-IBCH 2.0

En término simples DIPAV es una versión computarizada de los modelos de diseño de pavimentos basada en la metodología de diseño AASHTO.

En anexo 9 se presenta el detalle de los cálculos, sin embargo a continuación se detalla los resultados obtenidos:

Tabla 41: Espesores determinados

ALTERNATIVAS			
ALTERNATIVA I (cm)		ALTERNATIVA II (cm)	
Carpeta Asfáltica:	5,0	Tratamiento Superficial Doble:	2,5
Capa Base:	10,0	Capa Base:	15,0
Capa Subbase:	17,0	Capa Subbase:	18,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular

Número de ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 – 150,000	5.0 cm	10 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 – 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: Manual AASHTO-93

2.7.5 MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE.-

La capa de subrasante mejorada puede ser una modificación de la subrasante existente (sustitución del material inadecuado).

La función principal de esta capa mejorada será dar resistencia a la estructura del pavimento.

El espesor de una capa de subrasante mejorada no debe ser menor del espesor determinado mediante el método que a continuación se describe:

- Tal como se indicó el Número Estructural (SN), según AASHTO está dado por la siguiente ecuación:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

-Se añade a la ecuación SN la capa de subrasante mejorada, expresada en términos de $a_4 \times D_4 \times m_4$, donde:

a4: Coeficiente estructural de la capa de subrasante mejorada, se recomiendan: 0.024, para reemplazar la subrasante pobre, por una subrasante regular con CBR 6 - 10%.

D4: Espesor de la capa de subrasante mejorada (cm).

De progresiva 1+750 a 2+250, 2+750 a 3+250 y 4+750 a 5+040.

m4: Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 4. Su valor será 1.

Nueva ecuación: $SNr = SN3 + a4 * D4 * m4$

-Con los valores determinados a4 y m4, se puede calcular el espesor efectivo

D4 de la subrasante mejorada, con la siguiente expresión:

$$D4 = (SNr - SN3) / (a4 \times m4)$$

$$D_4 = \frac{2.56 - 2.01}{0.024 * 1} = 22.92 \text{ cm.} \approx 23 \text{ cm.}$$

SN3 = 2.01. Número estructural del pavimento con subrasante pobre.

SNr = Número estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena, según se requiera mejorar.

Mr = 1,500*CBR = 1,500*4.03 = 6,045 psi. (Para suelos finos con CBR < 10%)

CBR % = 4.03, el más desfavorable.

Aplicando el software del DIPAV.

The screenshot shows the DIPAV software interface for pavement design. The 'Diseño de Espesor de Capas' tab is active. The following parameters are visible:

- Serviciabilidad Inicial (Po): 4.2
- Serviciabilidad Final (Pt): 2
- Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi): 41,678.81 KPa (6,045 psi)
- Confianza (R)(%): 80
- Desviación Estándar (So): 0.49
- Número de Ejes Equivalentes ESALs: 154,122
- Número de Etapas de Construcción: 1
- Número Estructural (mm) - (pulg): 65 (2.56)

Buttons for 'Calcular' and 'Calcular ESALs' are present. The 'SN' radio button is selected.

SNr=2.56

ALTERNATIVA I
PAVIMENTO CON CARPETA ASFÁLTICA

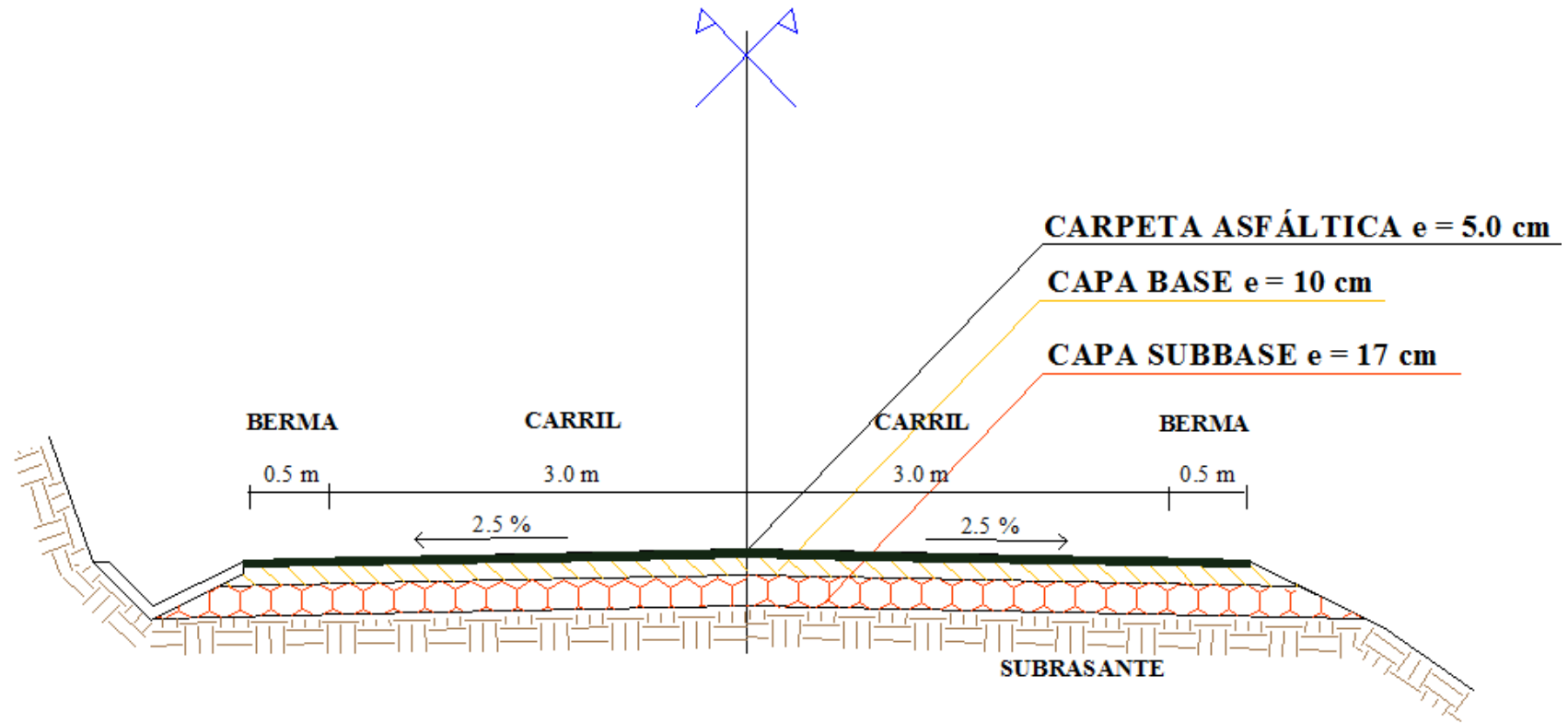


Figura 23: Dimensionamiento del pavimento flexible

ALTERNATIVA II
PAVIMENTO CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE

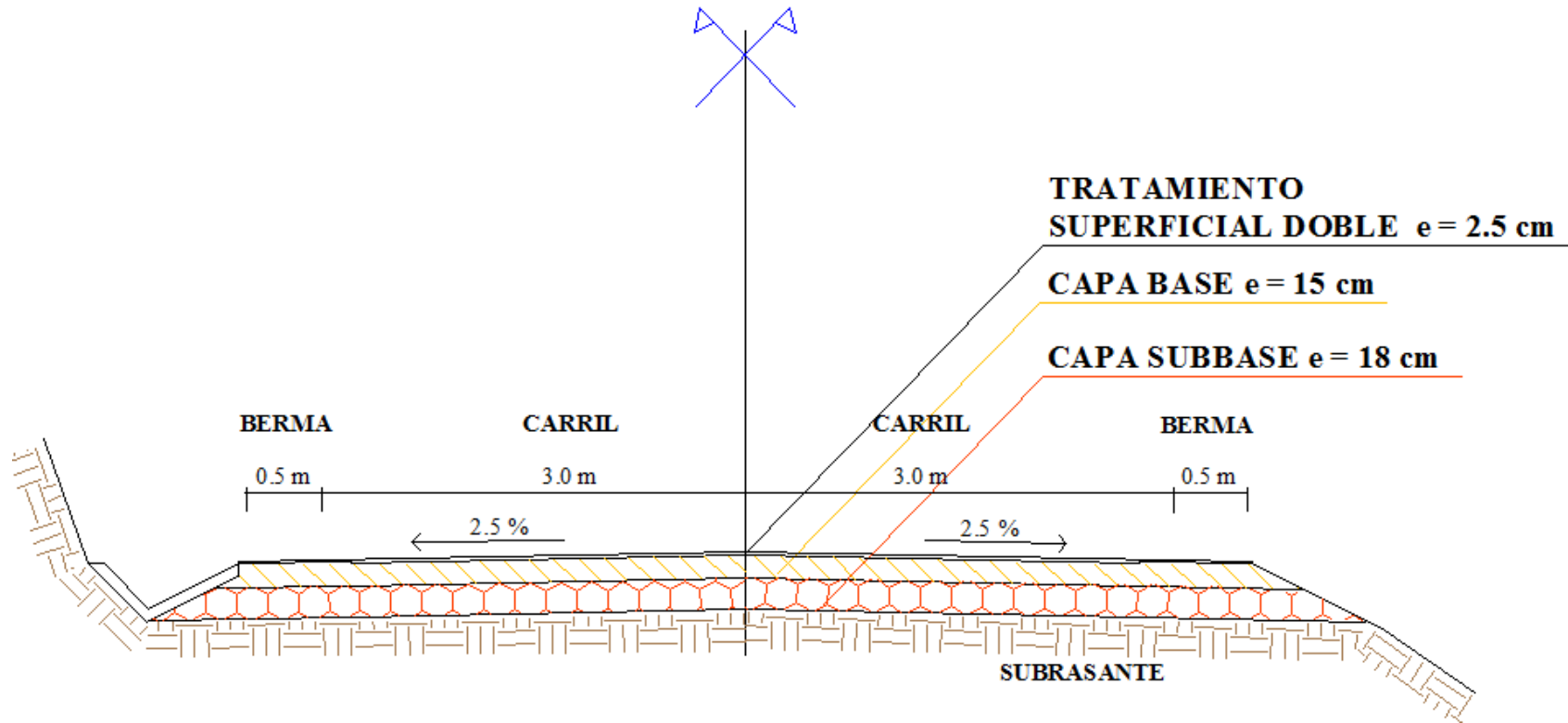
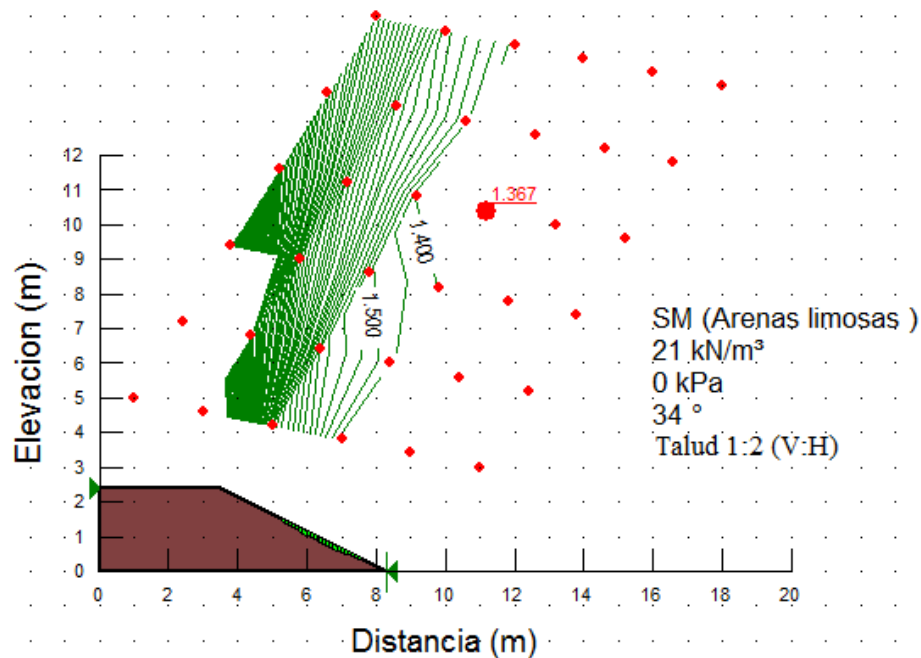


Figura 24: Dimensionamiento del Tratamiento Superficial Doble

2.8 DISEÑO COMPLEMENTARIO.-

2.8.1 ESTABILIDAD DE TALUDES.-

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES TALUD DE TERRAPLEN (PROGRAMA GEO SLOPE 2007)



Se aconseja el factor de seguridad mínimos para la estabilidad de terraplén:

$$FS = 1.3$$

Factor de seguridad: 1.37 Mayor que 1.3 Cumple!

Datos para el uso del programa:

El suelo a emplear en el terraplén producido por el corte en la subrasante, tiene como clasificación a un suelo SM (Arenas limosas), no plástico.

Peso unitario: Arena limosa densa 21 KN/m³

Tabla 43: Valoración Suelos Sucs

Principales divisiones 1	Letra 2	Nombre 3	Valor como terreno de apoyo 4	Valor como subbase 5	Valor como base 6	Acción potencial de la helada 7	Compresibilidad y expansión 8	Características de drenaje 9	Equipo de compactación 10	Peso unitario en seco en Tm/m ³ 11		
Suelos de grano grueso	Gravas y suelos con grava	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino	Excelente	Excelente	Bueno	Ninguna a muy ligera	Casi ninguna	Excelente	Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos, rodillo con ruedas de acero	2,00-2,24	
		GP	Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino	Bueno a excelente	Bueno	Regular a bueno	Ninguna a muy ligera	Casi ninguna	Excelente	Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos, rodillo con ruedas de acero	1,76-2,24	
		G M u	d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	Bueno a excelente	Bueno	Regular a bueno	Ligera a media	Muy ligera	Pobre a mediano	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	2,00-2,32
					Bueno	Mediano	Pobre a no conveniente	Ligera a media	Ligera	Pobre a prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,84-2,16
	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	Bueno	Mediano	Pobre a no conveniente	Ligera a media	Ligera	Pobre a prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	2,08-2,32		
	Arenas y suelos arenosos	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino	Bueno	Mediano a bueno	Pobre	Ninguna a muy ligera	Casi ninguna	Excelente	Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos	1,76-2,08	
		SP	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino	Mediano a bueno	Mediano	Pobre a no conveniente	Ninguna a muy ligera	Casi ninguna	Excelente	Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos	1,68-2,16	
		S M u	d	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Mediano a bueno	Mediano a bueno	Pobre	Ligera a alta	Muy ligera	Pobre a mediano	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,92-2,16
					Mediano	Pobre a mediano	No conveniente	Ligera a alta	Ligera a media	Pobre a prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,60-2,08
		SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla	Pobre a mediano	Pobre	No conveniente	Ligera a alta	Ligera a media	Pobre a prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,60-2,16	
ML	Limos inorgánicos	Pobre a mediano	No conveniente	No conveniente	Media a muy alta	Ligera a media	Pobre a mediano	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,44-2,08			

Fuente: AASHTO

Cohesión: Suelo NP (no plástico), no tiene cohesión.

El ángulo de rozamiento interno: 34° en función al tipo de suelo, ver tabla siguiente.

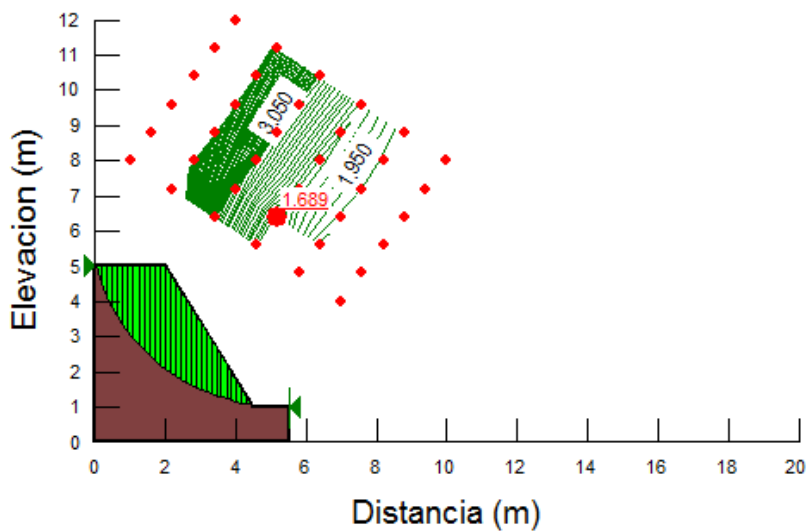
Tabla 44: Propiedades De Suelos

Group symbol	Modified AASHO compaction§	Standard Proctor compaction			Standard Proctor compaction					Typical design values		
	Optimum moisture content %	Max. dry density $kN m^{-3}$	Optimum moisture content %	Void ratio e at optimum compaction	Compressibility % Reduction of initial volume		Shearing strength			ϕ (Effective stress envelope) degrees	CBR	Subgrade modulus $kN m^{-2}$
					at $137.9 kNm^{-2}$	at $344.75 kNm^{-2}$	c_u kNm^{-2}	c_{sat} kNm^{-2}	Tan ϕ			
GW	11-8	>19.0	<13.3	ID	<1.4	ID	ID	ID	>0.75	>38	40-80	80-135
GP	14-11	>17.6	<12.4	ID	<0.8	ID	ID	ID	>0.74	>37	30-60	30-135
GM	12-8	>18.2	<14.5	ID	<1.2	<3.0	ID	ID	>0.67	>34	20-60	55-135
GC	14-9	>18.4	<14.7	ID	<1.2	<2.4	ID	ID	>0.60	>31	20-40	55-135
SW	16-9	2.0 ± 0.8	13.3 ± 2.5	$0.37 \pm ID$	$1.4 \pm ID$	ID	39 ± 4	ID	0.79 ± 0.02	~38	20-40	55-110
SP	21-12	7.6 ± 0.3	12.4 ± 1.0	0.50 ± 0.03	0.8 ± 0.3	ID	23 ± 4	ID	0.74 ± 0.02	~38	10-40	40-110
SM	16-11	8.2 ± 0.15	14.5 ± 0.4	0.48 ± 0.02	1.2 ± 0.1	3.0 ± 0.4	51 ± 6	20 ± 7	0.67 ± 0.02	~34	10-40	25-110
SC	10-11	4.4 ± 0.15	14.7 ± 0.4	0.48 ± 0.01	1.2 ± 0.2	2.4 ± 0.5	75 ± 15	11 ± 6	0.60 ± 0.07	~31	5-20	25-80
ML	24-12	5.0 ± 0.15	19.2 ± 0.7	0.63 ± 0.02	1.5 ± 0.2	2.6 ± 0.3	67 ± 19	$9 \pm ID$	0.62 ± 0.04	~32	15 or less	
CL	24-12	7.4 ± 0.15	17.2 ± 0.3	0.56 ± 0.01	1.4 ± 0.2	2.6 ± 0.4	87 ± 10	13 ± 2	0.54 ± 0.04	28	15 or less	15-40
OL	33-21	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	--	5 or less	15-25
MH	40-20	3.2 ± 0.55	36.3 ± 3.2	1.15 ± 0.12	2.0 ± 1.2	3.4 ± 0.8	72 ± 30	20 ± 9	0.47 ± 0.05	~25	10 or less	15-25
CH	36-19	5.0 ± 0.3	25.5 ± 1.2	0.80 ± 0.04	2.6 ± 1.3	3.9 ± 1.5	103 ± 34	11 ± 6	0.35 ± 0.09	~19	15 or less	15-40
OH	45-21	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	--	5 or less	5-25
Pt	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: United States Army Corps of Engineers (1953)

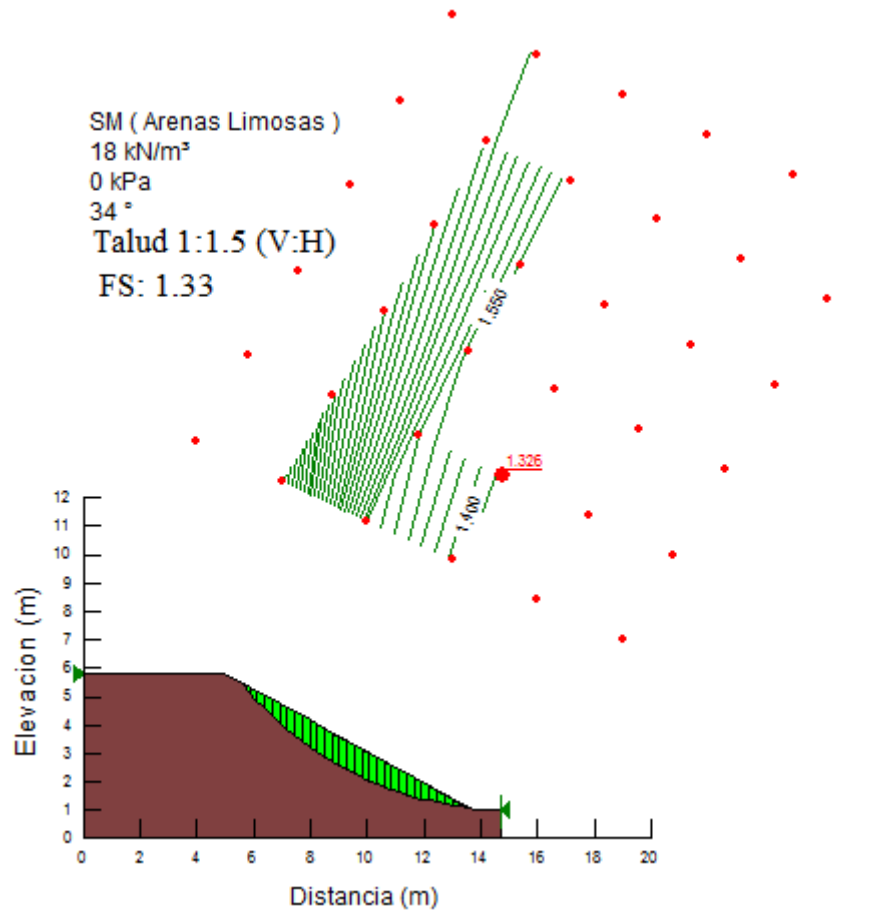
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES
TALUD DE CORTE
(PROGRAMA GEO SLOPE 2007)

ML (Limos Inorganicos y arenas muy finas limosas o arcillosas, con baja plasticidad)
17.67 kN/m³
10 kPa
32 °
Talud 1:1/2 (V:H)



Kilómetro 3+100 Lado Izquierdo y Derecho
Kilómetro 2+000 Lado Izquierdo y derecho
Factor de seguridad: 1.69 Mayor que 1.15 Cumple!

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES
TALUD DE CORTE
(PROGRAMA GEO SLOPE 2007)



Kilómetro 4+325 Lado Izquierdo y Derecho

Factor de seguridad: 1.33 Mayor que 1.15 Cumple!

CAPÍTULO III: CÓMPUTO MÉTRICO Y PRESUPUESTO

3.1 CÓMPUTOS MÉTRICOS.-

Los cálculos métricos están basados en la cuantificación de longitudes superficiales y volúmenes de las diferentes partes de la obra a través de fórmulas geométricas que están reflejados en diferentes ítems.

Tabla 45: Planilla de cálculos métricos

CÓMPUTOS MÉTRICOS									
PROYECTO: DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA " SAN TELMO RÍO BERMEJO - COOP. J. KENNEDY "									
N°	DESCRIPCIÓN	Unidad	Dimensiones			Parcial	Partes Iguales	Total	Obs.
			Largo	Ancho	Altura				
TRABAJOS PREVIOS									
1	INSTALACIÓN DE FAENAS	GLB	1.00			1.00	1.00	1.00	Total
2	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN	GLB	1.00			1.00	1.00	1.00	Total
3	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRÁFICO	KM	5.04			5.04	1.00	5.04	Total
MOVIMIENTO DE TIERRAS									
4	EXCAVACIÓN TERRENO BLANDO C/EQUIPO	M3				30965.90	1.00	30,965.90	Total
5	CONFORMACIÓN Y COMPACTADO DE TERRAPLÉN	M3				27916.50	1.00	27,916.50	Total
PAVIMENTO									
6	CONFORMACIÓN DE CAPA SUBBASE	M3	5039.65	7.00	0.17	5997.184	1.00	5,997.18	Total
7	CONFORMACIÓN DE CAPA BASE	M3	5039.65	7.00	0.10	3527.76	1.00	3,527.76	Total
8	IMPRIMACIÓN BITUMINOSA	M2	5039.65	7.00		35277.55	1.00	35,277.55	Total
9	CARPETA ASFÁLTICA	M3	5039.65	7.00	0.05	1763.878	1.00	1,763.88	Total

OBRAS DE ARTE MENOR									
10	TRAZADO Y REPLANTEO DE OBRAS DE ARTE	PZA							
	Alcantarillas de alivio	PZA				1.00	10.00	6.00	
	Alcantarillas de paso	PZA				1.00	7.00	7.00	
								13.00	Total
11	EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA P/OBRAS DE DRENAJE MENOR	M3				382.90	1.00	382.90	Total
12	CAMA DE ARENA SELECCIONADA	M3	7.48	1.00	0.15	1.122	10.00	6.732	Total
13	PROVISIÓN Y COLOCACIÓN DE TUBOS ARMCO								
	Alcantarillas de alivio	ML	7.48			7.48	10.00	44.88	
	Alcantarillas de paso	ML	8.40			8.40	7.00	58.80	
								103.68	Total
14	H° C° TIPO C 33% P.D. P/ OBRAS DE ARTE	M3				29.14	1.00	29.14	Total
15	MAMPOSTERÍA DE PIEDRA	M3				1.465	10.00	9.23	Total
16	RELLENO Y COMPACTADO DE OBRAS DE DRENAJE	M3				26.98	1.00	26.98	Total
17	CUNETA REVESTIDA CON PIEDRA ZAMPEADA	M2	1282.80	1.46		1872.89	1.00	82.00	Total
OBRAS COMPLEMENTARIAS									
18	LIMPIEZA GENERAL	KM	5.04			5.04	1.00	5.04	Total
19	LETRERO DE OBRA	PZA				1.00	2.00	2.00	Total

3.2 PRESUPUESTO.-

3.2.1 PRECIOS UNITARIOS.-

Este es un método analítico que consiste, en determinar los precios unitarios de cada uno de los ítems basados en los cómputos métricos, que forman parte del camino.

Ya que esto nos permitirá conocer el costo total de la obra, al sumar todos los ítems que se toman en cuenta.

Para el análisis de predios unitarios del proyecto de grado de acuerdo al decreto supremo N° 27328 para licitación del sector público correspondiente al formulario B-2, porcentajes regulados por decreto supremo.

Tabla 46: Porcentajes regulados por decreto supremo 27328

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE
CARGAS SOCIALES	55-71.18% del subtotal de mano de obra.
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO: IVA	14.94% del subtotal de mano de obra + cargas sociales
UTILIDAD	10-20% de (Materiales, Mano de obra, Equipo, Maquinaria, Herramientas, Gastos generales y Administrativo)
IMPUESTO A LA TRANSACCIÓN: IT	3.09% (Materiales, Mano de obra, Equipo, Maquinaria, Herramientas, Gastos generales, Administrativo, utilidad)

Fuente: Estructura de costos

Tabla 47: Precios de mano de obra

DESCRIPCIÓN	TOTAL
	HORA
	Bs
Alarife	8.54
Albañil	15.45
Capataz	15.45
Chofer	12.27
Maestro Encofrador	16,50
Pintor	18.00
Operador Equipo Liviano	14.18
Operador Equipo Pesado	15.45
Operador Planta	16,37
Peón	8.54
Topógrafo	15.45
Ayudante Maquinaria Y Equipo	8.54
Operador Vibrador De Hormigón	13,14
Carpintero Encofrador	14,18
Ayudante de Albañil	10.51
Operador Distribuidor de Asfalto	16.37

Fuente: SEDECA (Servicio departamental de caminos)

Tabla 48: Costo horario de maquinaria y equipo

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO COTIZADO Bs
1	Estación total	Hr.	20.05
2	Camión cisterna 10000 Lt.	Hr.	199.75
3	Cargador Frontal de ruedas	Hr.	336.15
4	Distribuidor de asfalto de 10000 Lt.	Hr.	373.31
5	Compactadora Rodillo Liso vibrante	Hr.	260.00
6	Retroexcavadora a neumáticos	Hr.	250.00
7	Motoniveladora 140G	Hr.	340.47
8	Escoba mecánica no autopropulsada	Hr.	11.78
9	Tractor de oruga c/esc. Y c/top. D7	Hr.	427.70
10	Tractor camión Low Boy	Hr.	240.00
11	Distribuidor de agregados	Hr.	250.10
12	Compactador de rodillo neumático de 10Tn.	Hr.	288.47
13	Volqueta 12 m ³	Hr.	120.00
14	Compactadora rodillo pata de cabra	Hr.	257.04
15	Distribuidor de asfalto	Hr.	242.14
16	Compactadora manual de placa vibrante	Hr.	25.00
17	Equipo soldador	Hr.	40.00
18	Generador eléctrico	Hr.	40.00
19	Mezcladora de hormigón 500 Lt.	Hr.	38.38

Fuente: SEDECA (Servicio departamental de caminos)

Tabla 49: Precios de materiales

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO COTIZADO Bs
1	Estacas de madera	Pza.	1.50
2	Pintura al aceite	Lt.	55.00
3	Clavo	Kg.	13.00
4	Cemento asfáltico	Lt.	13.58
5	Solvente para asfalto (Kerosene)	Lt.	5.00
6	Arena fina	m ³ .	100.00
7	Tubo de chapa ARMCO d = 1.00 m.	ml.	1433.30
8	Tubo de chapa ARMCO d = 1.20 m.	ml.	1720.40
9	Tubo de chapa ARMCO d = 1.50 m.	ml.	2526.70
10	Cemento Portland	Kg.	1.10
11	Arena Común	m ³ .	145.00
12	Grava	m ³ .	150.00
13	Piedra	m ³ .	125.00
14	Madera de encofrado	P ²	7.00
15	Alambre de amarre	Kg.	13.00
16	Piedra manzana	m ³ .	125.00
17	Material seleccionado para la base	m ³ .	63.000
18	Material seleccionado para la subbase	m ³ .	56.00

Fuente: SEDECA (Servicio departamental de caminos)

Tabla 50: Planilla de precios unitarios

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

DATOS GENERALES					
Proyecto	DISEÑO FINAL DE INGENIERIA " SAN TELMO RIO BERMEJO - COOP. J. KENNEDY "				
Actividad	INSTALACIÓN DE FAENAS				
Unidad	GLB				
Moneda	BOLIVIANOS				
1. MATERIALES					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
	VARIOS PARA INSTALACION DE FAENAS	GLB	1.000	25,000.000	25,000.000
TOTAL MATERIALES					25,000.000
2. MANO DE OBRA					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
	ALBAÑIL	HR	20.000	15.450	309.000
	PEÓN	HR	35.000	8.540	298.900
SUBTOTAL MANO DE OBRA					607.900
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)				65%	395.14
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)				14.94%	149.85
TOTAL MANO DE OBRA					1,152.89
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
*	HERRAMIENTAS = (5% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			0.050	57.644
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					57.644
					COSTO TOTAL
*	GASTOS GENERALES = 15% DE 1 + 2 + 3			0.150	3,931.58
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					3,931.58
5. UTILIDAD					
					COSTO TOTAL
*	UTILIDAD = 10% DE 1 + 2 + 3 + 4			0.100	3,014.21
TOTAL UTILIDAD					3,014.21
6. IMPUESTOS					
					COSTO TOTAL
*	IMPUESTOS IT = 3.09% DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			0.031	1,024.530
TOTAL IMPUESTOS					1,024.530
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)					34,180.85
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)					34,180.85

NOTA: Este formulario esta llenado por el UNIV. GARCIA TARRAGA GONZALO de manera coherente con las especificaciones técnicas, metodología propuesta, aplicando las leyes sociales y tributarias vigentes

Los precios unitarios de los demás ítems se pueden observar en anexo 10.

3.2.2 PRESUPUESTO GENERAL.-

Representa el valor total estimado que tendrá el camino, al ser construido este no es un valor fijo ya que puede variar a medida que se ejecute la obra.

Tabla 51: Resultado del presupuesto general con Carpeta Asfáltica

PRESUPUESTO GENERAL					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
OBRAS PRELIMINARES					
1	instalación de faenas	GLB	1.00	34,180.85	34,180.85
2	movilización y desmovilización	GLB	1.00	10,398.91	10,398.91
3	replanteo y control topográfico	KM	5.04	1,373.52	6,922.02
MOVIMIENTO DE TIERRAS					
4	excavación terreno blando c/equipo	M3	32,042.80	22.04	706,237.03
5	conformación y compactado de terraplén	M3	29,500.70	25.06	739,316.67
PAVIMENTO					
6	conformación de capa subbase	M3	5,997.18	126.70	759,836.02
7	conformación de capa base	M3	3,527.76	137.86	486,344.79
8	imprimación bituminosa	M2	35,277.55	22.05	777,967.02
9	carpeta asfáltica	M3	1,763.88	2,463.55	4,345,399.61
OBRAS DE ARTE MENOR					
10	trazado y replanteo de obras de arte	PZA	17.00	127.87	2,173.79
11	excavación no clasificada p/obras de drenaje menor	M3	220.46	31.07	6,848.74
12	cama de arena seleccionada	M3	30.60	150.95	4,618.99
13	provisión y colocación de tubos Armco	ML	194.00	7,222.60	1,401,185.04
14	H° C° tipo c 33% p.d. p/ obras de arte	M3	29.14	1,288.81	37,556.01
15	mampostería de piedra	M3	15.38	994.00	15,290.18
16	relleno y compactado de obras de drenaje	M3	27.50	22.76	625.79
17	cuneta revestida con piedra zampeada	M2	62.00	72.78	4,512.37
OBRAS COMPLEMENTARIAS					
18	limpieza general	KM	5.04	270.97	1,365.57
19	letrero de obra	PZA	2.00	2,017.43	4,034.85
PRECIO TOTAL Bs (Numeral)				9,344,814.27	

Tabla 52: Resultado del Presupuesto General con Tratamiento Superficial Doble

PRESUPUESTO GENERAL					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
OBRAS PRELIMINARES					
1	instalación de faenas	GLB	1.00	34,180.85	34,180.85
2	movilización y desmovilización	GLB	1.00	10,398.91	10,398.91
3	replanteo y control topográfico	KM	5.04	1,373.52	6,922.02
MOVIMIENTO DE TIERRAS					
4	excavación terreno blando c/equipo	M3	32,042.80	22.04	706,237.03
5	conformación y compactado de terraplén	M3	29,500.70	25.06	739,316.67
PAVIMENTO					
6	conformación de capa subbase	M3	6,349.96	126.70	804,532.26
7	conformación de capa base	M3	5,291.63	137.86	729,517.19
8	imprimación bituminosa	M2	35,277.55	22.05	777,967.02
9	tratamiento superficial doble	M3	35,277.55	60.49	2,133,985.07
OBRAS DE ARTE MENOR					
10	trazado y replanteo de obras de arte	PZA	17.00	127.87	2,173.79
11	excavación no clasificada p/obras de drenaje menor	M3	220.46	31.07	6,848.74
12	cama de arena seleccionada	M3	30.60	150.95	4,618.99
13	provisión y colocación de tubos Armco	ML	194.00	7,222.60	1,401,185.04
14	H° C° tipo c 33% p.d. p/ obras de arte	M3	29.14	1,288.81	37,556.01
15	mampostería de piedra	M3	15.38	994.00	15,290.18
16	relleno y compactado de obras de drenaje	M3	27.50	22.76	625.79
17	cuneta revestida con piedra zampeada	M2	62.00	72.78	4,512.37
OBRAS COMPLEMENTARIAS					
18	limpieza general	KM	5.04	270.97	1,365.57
19	letrero de obra	PZA	2.00	2,017.43	4,034.85
PRECIO TOTAL Bs (Numeral)				7,421,268.37	

Ahora se muestra el costo monetario de las alternativas planteadas.

COSTO MONETARIO CARPETA ASFÁLTICA		
Costo total:	9,344,814	Bs
Costo total:	1,342,646	\$us
Costo por km:	1,854,130	Bs
	266,398	\$us
COSTO PORCENTUAL		
Obras Preliminares:	0.55	%
Movimientos de Tierra:	15.47	%
Pavimento:	68.16	%
Obras de Arte Menor:	15.76	%
Obras Complementarias:	0.06	%
TOTAL:	100	%

COSTO MONETARIO TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE		
Costo total:	7,421,268	Bs
Costo total:	1,066,274	\$us
Costo por km:	1,472,474	Bs
	211,562	\$us
COSTO PORCENTUAL		
Obras Preliminares:	0.69	%
Movimientos de Tierra:	19.48	%
Pavimento:	59.91	%
Obras de Arte Menor:	19.85	%
Obras Complementarias:	0.07	%
TOTAL:	100	%

3.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE RODADURA.-

Planteada las dos alternativas, corresponderá a través de un análisis técnico y económico para determinar la mejor alternativa que permita tener el camino en buenas condiciones durante el periodo estimado de diseño de 15 años.

De acuerdo a sus dimensiones del paquete estructural y rodadura, el costo obtenido de la alternativa I es mayor con respecto a la alternativa II, sin embargo desde el punto de vista de la durabilidad los tratamientos superficiales únicamente es factible para ejes equivalentes menores a 50,000 ESAL's por tanto no es conveniente diseñar esta alternativa puesto que sus propias características es muy difícil que supere el periodo de 5 a 6 años de vida útil.

A continuación se muestra una tabla comparativa entre las alternativas a elegir.

Tabla 53: Tabla comparativa de tipo de rodadura

ALTERNATIVAS					
ALTERNATIVA I			ALTERNATIVA II		
Técnico	Carpeta Asfáltica (cm):	5.0	Técnico	Tratamiento Superficial Doble (cm):	2.5
	Capa Base (cm):	10.0		Capa Base (cm):	15.0
	Capa Subbase (cm):	17.0		Capa Sub Base (cm):	18.0
Económico	Presupuesto General	9,344,814.27 Bs	Económico	Presupuesto General:	7,421,268.37 Bs
	Costo por Km:	1,854,130 Bs.		Costo por Km:	1,472,474 Bs
Vida Útil	15 años		Vida Útil	6 años	

Fuente: Elaboración propia

Es por lo mencionado que el tipo de pavimento a elegir es la carpeta asfáltica.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.-

- El Proyecto a diseño final de ingeniería "SAN TELMO RÍO BERMEJO - COOPERATIVA J. KENNEDY", se categoriza como un Camino de Desarrollo con una velocidad de proyecto de 40 km/hr.
- Mediante los análisis de laboratorio de suelos desarrollados se deduce que las características del suelo de la subrasante es de pésimo a buena calidad, oscilando valores de la capacidad portante de suelo de 4.03 % hasta el 20 %.
- Según el estudio de tráfico vehicular se determinó un tráfico promedio diario anual de 15 vehículos, lo que corresponde a un camino de bajo volumen de tráfico.
- La Topografía de la zona del proyecto presenta terrenos ondulado medio, siendo la pendiente longitudinal mínima en el alineamiento de 0,2% y la máxima de 9.44 % en el diseño.
- En el alineamiento en planta se diseñó 40 curvas circulares con radios que comprenden de 50 metros siendo el mínimo admitido, hasta radios de 200 metros.
- En la geometría del perfil se diseñaron 18 curvas verticales con longitud mínima de 40 m, de las cuales 9 corresponden a curvas convexas y 9 cóncavas.
- En el diseño del proyecto se tiene 7 alcantarillas de cruce tipo ARMCO con diámetros comerciales de 1.00, 1.20 y 1.50 metros, 10 alcantarillas de alivio con dimensiones hidráulicas de 0.5 y 0.6 metros de diámetro; pero por fines de limpieza el diámetro constructivo es de 1.00 metros.
- La cuneta se diseñó de forma triangular porque tiene una erosión menor y un proceso de construcción más fácil, su altura es de 0.40 metros contando con un borde libre de 0.05 metros.

- Desde el punto de vista técnico, económico y de durabilidad se llevó a cabo la elección del paquete estructural y tipo de rodadura.

El dimensionamiento del tratamiento superficial es: capa subbase 0.18m, base 0.15 m, rodadura 0.025m, con vida útil de 6 años y un costo del tratamiento superficial doble de 8.64 \$/m² llegando a ser el presupuesto general del proyecto de 7, 421,268.37 Bs.

Optando por carpeta asfáltica las dimensiones de las capas son: subbase 0.17m, base 0.10 m, rodadura 0.05m, con vida útil de 15 años y un costo de la carpeta asfáltica de 18 \$/m² llegando a costar la obra un total de 9, 344,814.27 Bs.

4.2 RECOMENDACIONES.-

- Se recomienda realizar un análisis de cargas de los vehículos que circulan en el área del proyecto ya que estos inciden en el diseño estructural del pavimento.
- En el dimensionamiento del pavimento flexible se recomienda adoptar parámetros que estén por el lado de la seguridad para contar con espesores adecuados en el diseño.
- Ejecutado el proyecto se recomienda tener un plan de sostenibilidad del camino, es decir, una planificación en operación y mantenimiento.

CAPÍTULO II: INGENIERÍA DEL PROYECTO

2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.-

El proyecto se localiza en la comunidad de San Telmo Río Bermejo y Cooperativa J. Kennedy del municipio de Padcaya primera sección de la provincia Arce del Departamento de Tarija.

Coordenadas:

22°32'16.00"S

64°24'30.00"W

553 m.s.n.m. Elevación

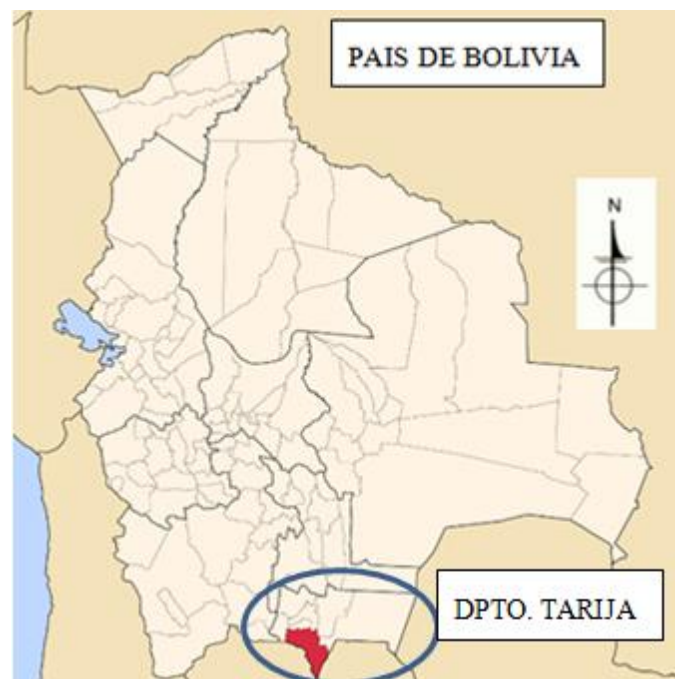


Figura 1: Mapa de Bolivia



Figura 2: Mapa de Provincia Arce

2.2 ACCESO AL ÁREA DEL PROYECTO.-

El acceso a la zona del proyecto es desde la ciudad de Tarija, "Ruta F1 Tarija - Padcaya - San Telmo - Bermejo"

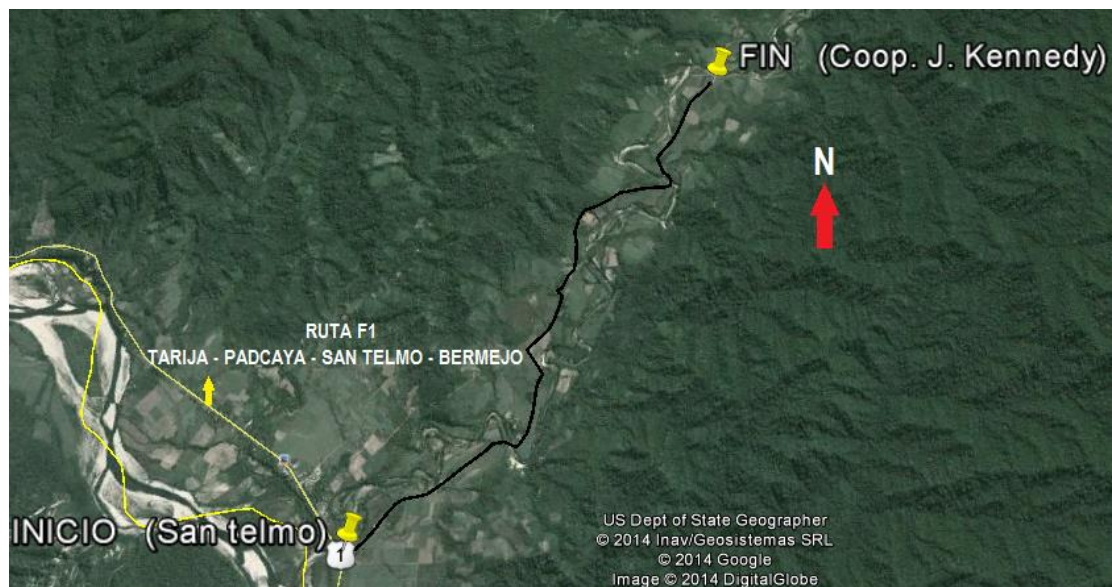


Figura 3: Imagen Satelital

2.3 ESTUDIOS PREVIOS DEL PROYECTO.-

2.3.1 ESTUDIO TOPOGRÁFICO.-

2.3.1.1 RECONOCIMIENTO.-

El reconocimiento de la ruta se la realizó sobre el camino actual, en el cual se desarrollará el trazado del eje de la vía estableciendo los puntos topográficos o técnicos y los políticos o sociales, de las cuáles se pudo destacar los siguientes:

A lo largo del tramo se establecieron 9 puntos topográficos de los cuáles 7 corresponden a cruces de quebradas y dos de mayor consideración que es el río Bermejo.

Entre los puntos políticos se pueden distinguir viviendas al inicio y al final del tramo, parcelas a lo largo del camino y cercos alambrados delimitando propiedades.

2.3.1.2 METODOLOGÍA DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.-

El trabajo se dividió en dos etapas: Campo y gabinete, las cuáles se describen a continuación:

En el **procedimiento de campo** los instrumentos utilizados son: Estaciones Total y Accesorios, GPS y material complementario (cinta métrica, libreta de anotaciones, pintura y pincel).



Fotografía N° 1: Estación Total Trimble M3 5''



Fotografía N° 2: Prisma

El levantamiento definitivo se realizó con el fin de determinar la configuración del terreno actual para posteriormente utilizar los datos necesarios y representarlos gráficamente en un plano de curvas de nivel.

Para empezar a desarrollar el levantamiento es imprescindible conocer las coordenadas del punto de partida (X, Y, Z), es por esto que se realizó la lectura del punto de partida con GPS (Sistema de Posicionamiento global).

Definido el punto de partida se procedió a instalar la estación total en dicho punto marcado, es necesario seguir los pasos que antiguamente se realizaban con el teodolito en cuanto a nivelación, es decir fijar el centro del punto marcado para luego nivelar, tanto el nivel circular como el tubular.

Antes de comenzar a efectuar el levantamiento es indispensable configurar las opciones internas de la Estación Total e introducir el punto de partida con sus respectivas coordenadas.

Ahora es necesario orientar el equipo, es decir, referenciar a partir del norte, que se lo practicó por coordenadas de un punto de referencia adicional al punto de partida.

Referenciado el punto de partida se procedió a componer el levantamiento definitivo a través del método conocido como método de las transversales con el fin de obtener datos en forma ordenada, la cual consiste en seccionar la vía a través de secciones transversales que cruzan ortogonalmente con una separación 20m. en rectas y 10m.

en curvas dependiendo del caso particular de algunos tramos, estas transversales tienen intermedios de un extremo al otro.



Fotografía N° 3: Desarrollando el levantamiento topográfico

Es lógico pensar que de un sólo punto de partida se podrá lecturar todos los puntos para confeccionar el plano de curvas de nivel, es de esta manera luego de lecturar las transversales del primer punto se procedió a cambiar de estación para esto se tuvo también que lecturar el punto estación y una referencia para comprobar que los puntos leídos en la estación son confiables y no tengan errores, el cambio de estación se hizo cuando la visibilidad no era buena ya sea por árboles, casas y entramos curvos.

Se establecieron BMs (Bancos de nivel) cada 500 m. en todo el tramo de estudio para el control vertical del levantamiento.

Los Levantamientos Complementarios fueron realizados en lugares singulares, como ser cruce de quebradas existentes, en lugares posibles de instalación de alcantarillas y límites de propiedad.

De ahí al terminar el levantamiento se tienen 1151 puntos leídos a lo largo del tramo.

El **procedimiento en gabinete** consiste en el de transferir datos de la estación total a la computadora por medio del cable USB, los puntos se convirtieron al formato de block de notas.

Para una idealización del terreno se utilizó el programa AutoCAD Civil 3D 2013, que nos facilita el trabajo en cuanto a planimetría (producción de planos topográficos en planta), modelos tridimensionales de terreno, curvas de nivel, obtención de cortes del terreno, cálculo de volúmenes por proyecto y el diseño geométrico del camino.

Una vez ingresado al programa se creó un proyecto con el nombre “Diseño Geométrico” y configurando algunos componentes (escala, unidad, etc.) se importaron el grupo de puntos del levantamiento (block de notas) para poder visualizar en la pantalla.

Los puntos se reflejan en la pantalla, de tal modo que a través de un procedimiento mecanizado se obtuvieron triangulaciones entre los puntos a partir de ellos se adquirieron las curvas de nivel de la faja del camino. Como se puede apreciar en la figura siguiente.

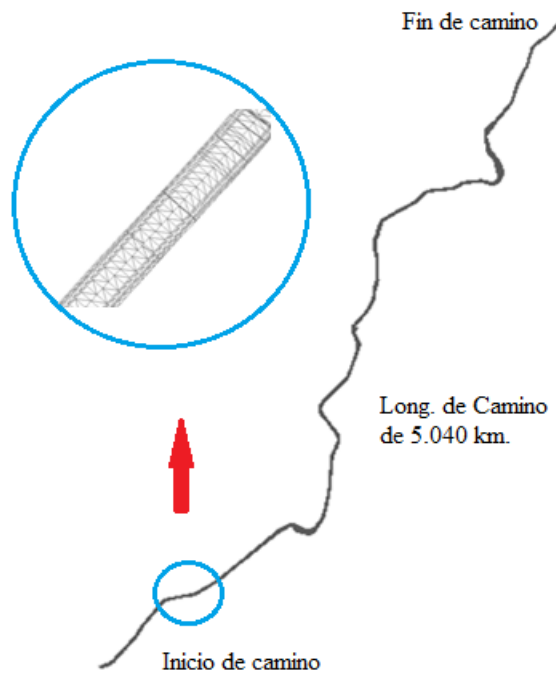


Figura 4: Triangulación del trazo del camino

Tabla 1: Ubicación de Bancos de Nivel (BM)

N°	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
0	355103.3648	7506959.596	537.8661	BM0
1	355706.3321	7507348.612	638.6542	BM1
2	355942.5755	7507525.67	556.7482	BM2
3	356299.0677	7507737.038	574.7321	BM3
4	356422.4255	7508213.41	640.1255	BM4
5	356490.1777	7508629.621	662.4111	BM5
6	356633.0001	7509065.014	650.6744	BM6
7	356765.8999	7509472.172	683.9522	BM7
8	357229.9399	7509578.992	685.7712	BM8
9	357351.1712	7510022.418	578.998	BM9
10	357584.0412	7510473.524	581.875	BM10

Fuente: Elaboración propia

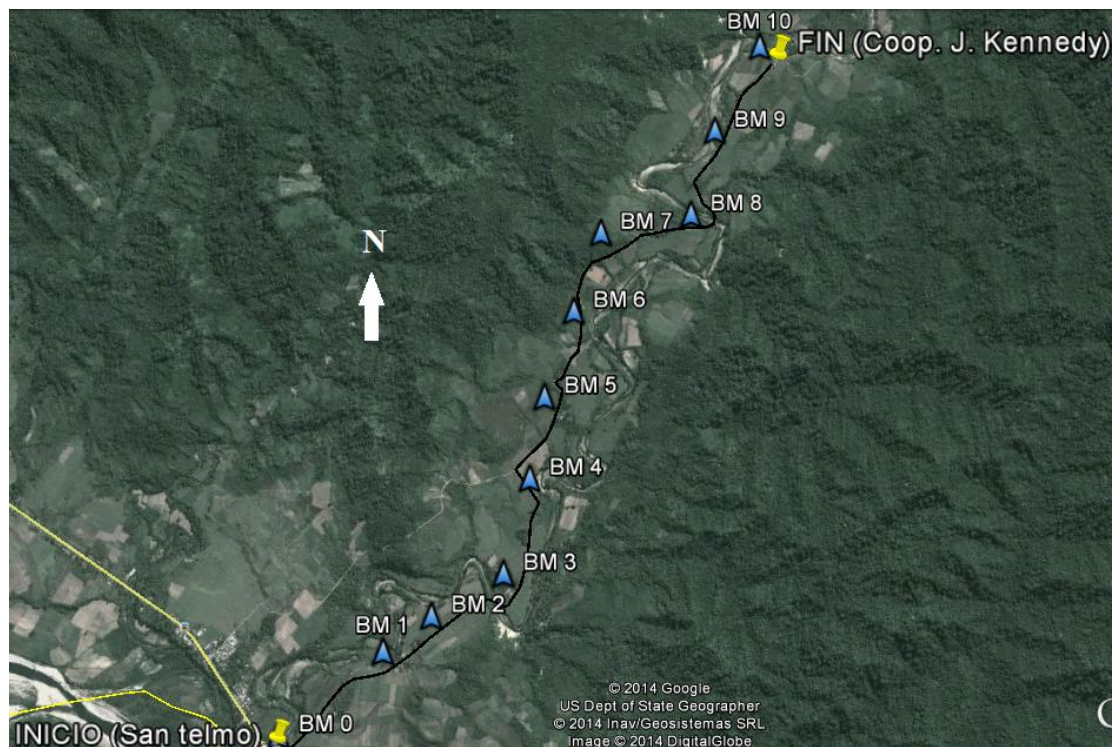


Figura 5: Ubicación de BMs en Imagen Satelital

Las planillas de coordenadas del levantamiento topográfico se pueden apreciar en Anexo 1.

2.3.2 ESTUDIO DE SUELOS.-

El estudio de suelos es una de las actividades más importante donde comprende la recolección de muestras suelo del terreno natural en toda la longitud del tramo SAN TELMO – COOP. J. KENNEDY como los ensayos en el laboratorio y su posterior análisis cualitativo y cuantitativo de cada uno de ellos.

La metodología adoptada en este estudio se dividió en las siguientes etapas:

- Etapa de campo
- Etapa de laboratorio de suelos
- Etapa de gabinete

El trabajo de campo consistió en el muestreo del suelo mediante excavación manual con dimensiones de 80 cm. de profundidad y 30 cm. de diámetro, la separación de las excavaciones se realizaron cada 500 m. logrando así 10 muestras de suelo en toda la longitud del camino.

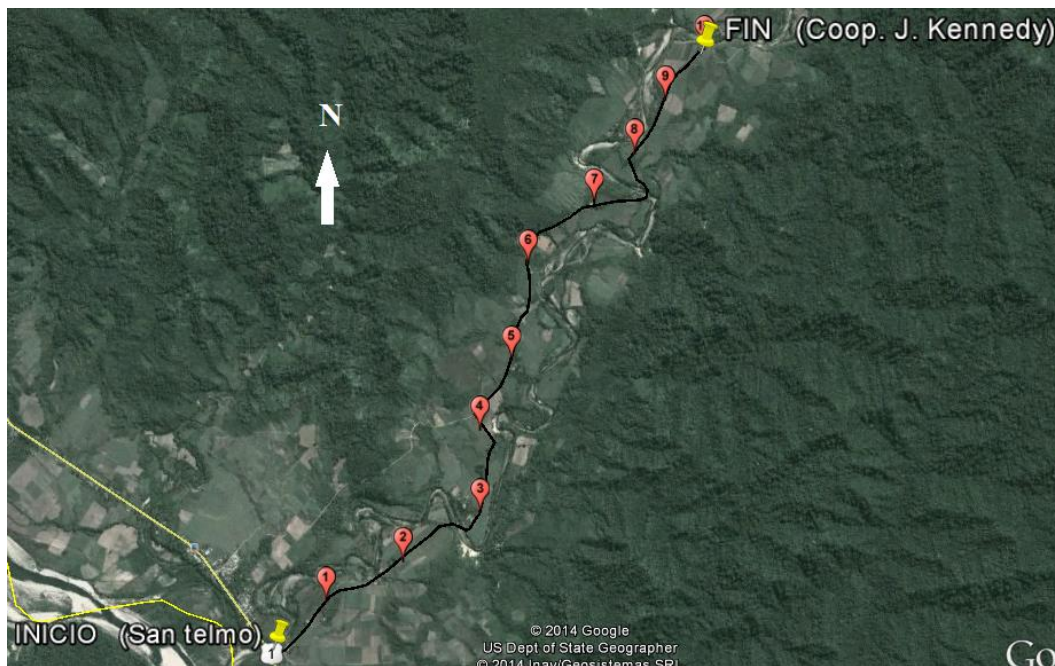


Figura 6: Ubicación del muestreo

Las muestras obtenidas, se llevaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para realizar los respectivos ensayos.



Fotografía N° 4: Lectura del C.B.R.

Los ensayos se elaboraron a cada muestra de acuerdo a la norma AASHTO, las cuales son:

- Contenido de Humedad (AASHTO T-265)
- Granulometría (AASHTO T-27)
- Límites de Atterberg (AASHTO T-89, AASHTO T-90)
- Relación Humedad-Densidad (T-99, T-180)
- Relación de Soporte de California C.B.R. (AASHTO T193-72)

Ahora, el trabajo de gabinete consistió en la tabulación, cálculo y clasificación de las muestras de suelo, que a continuación se prueban resultados de los ensayos materializados.

Tabla 2: Resultado del Análisis de Suelo

Ensayo	Progresiva	Clasificación	Compactación		C.B.R.
Muestra #	(km)	AASHTO	Dmax. (kg/cm²)	CHO (%)	95%
1	0+500	A-4(0)	2.09	8.64	20.00
2	1+000	A-4(0)	2.07	7.68	18.05
3	1+500	A-4(0)	2.01	9.82	12.73
4	2+000	A-4(5)	2.12	7.73	4.23
5	2+500	A-2-4(0)	2.23	6.33	13.19
6	3+000	A-4(6)	2.04	8.90	4.03
7	3+500	A-4(0)	2.14	8.80	14.51
8	4+000	A-2-4(0)	1.96	9.53	18.45
9	4+500	A-4(0)	2.00	10.24	11.65
10	5+000	A-2-4(0)	2.03	8.52	9.83

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Dmax = Densidad máxima.

CHO = Contenido de humedad óptima.

C.B.R. = Relación de Soporte de California.

Los suelos identificados que constituyen la subrasante natural donde prevalecen los suelos finos, se resumen en dos grupos que son:

Tipo de suelo A-4, con arenas limosas, incluyen mezclas de arena y limo, predominando el 80% en el trazo del proyecto.

El tipo de suelo A-2-4, que contienen limos inorgánicos y arenas finas limosas o arcillosas, con baja plasticidad, representa el 20% de suelo encontrado en el proyecto.

En cuanto a los C.B.R. de la subrasante, oscilan valores desde 4.03% como material pésimo, hasta 20% como suelo bueno, dependiendo de sus características de cada tipo de suelo en la zona.

A continuación se observa una gráfica del estudio de suelos realizado en el trazo del camino.

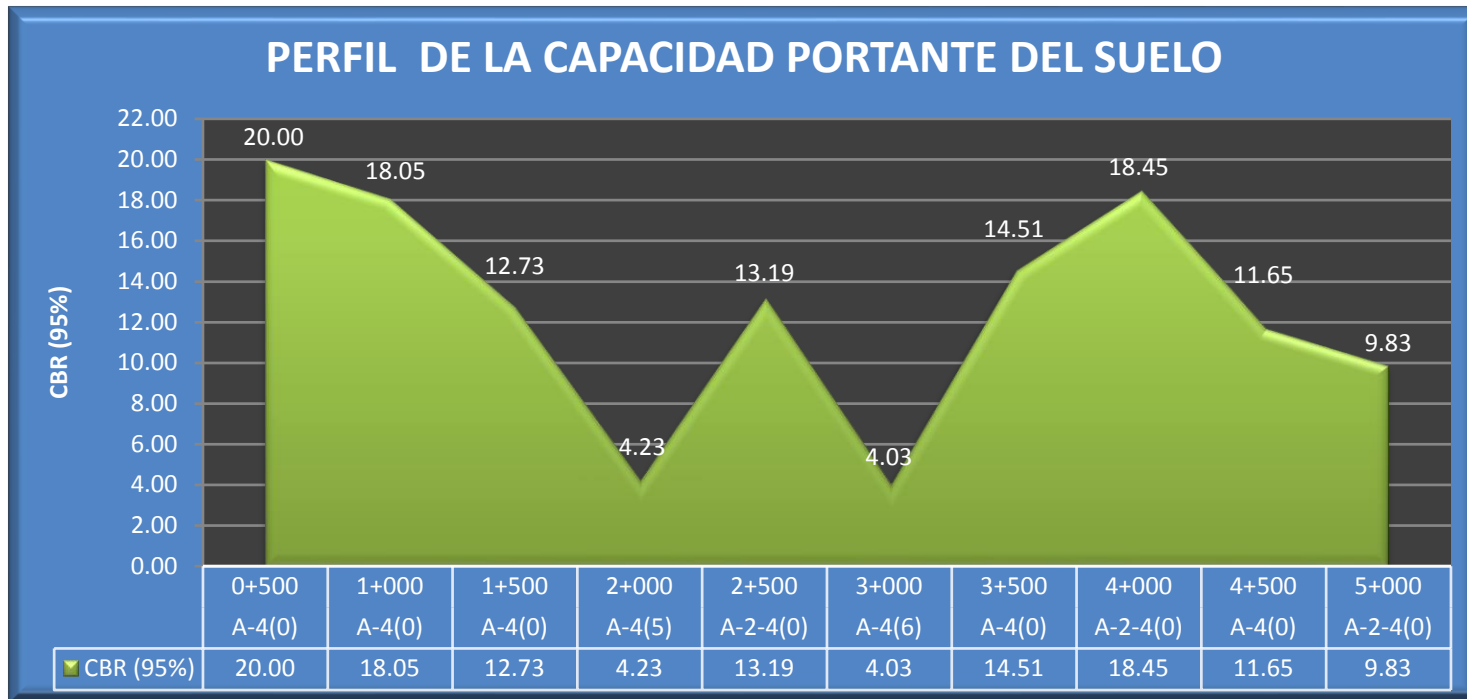


Figura 7: Perfil de la capacidad portante del suelo

El detalle de los ensayos de laboratorio de suelos realizados se encuentra en Anexo 2.

2.3.3 ESTUDIO DE TRÁFICO.-

Se realizó el aforo manual durante siete días (una semana) consecutivos las catorce horas del día de 6:00 am a 19:00 pm, realizando de manera personal el llenado de la tabla de aforo separando los vehículos según el tipo y peso: Tráfico liviano (automóviles, camionetas pequeñas, vagonetas) y mediano (camión mediano).

Tabla 3: Resultado del Aforo Manual

Tipo De Vehículo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio
Automóviles y Vagonetas	3	2	3	2	3	4	1	3
Camionetas	4	5	3	5	4	2	2	4
Camiones Medianos	4	5	6	3	6	3	5	5
Otros Vehículos	4	3	4	1	3	2	2	3
TOTAL	15	15	16	11	16	11	10	15

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.1 PRONÓSTICO DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO FUTURO.-

El pronóstico del volumen de tránsito futuro, deberá basarse no solamente en los volúmenes normales actuales, sino también en los incrementos del tránsito que se espera utilicen la nueva carretera.

$$TF = TA + IT$$

El tránsito actual, TA, es el volumen de tránsito que circula en el camino, es suficiente la utilización en términos de los volúmenes de tránsito diario anual, TPDA.

Para obtener el tránsito promedio diario anual, TPDA, es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año. Esta información anual es difícil de obtener, por los costos que ello implica. En estas situaciones, muestras de los datos sujetas a las mismas técnicas de análisis permiten generalizar el comportamiento de la población. Por lo anterior, en el análisis de volúmenes de tránsito, la media

poblacional o TPDA, se estima con base en la media maestra o TPDS, según la siguiente expresión:

$$TPDA = TPDS = 15 \text{ veh. /día.}$$

El incremento del tránsito, IT, es el volumen de tránsito que se espera use el camino en el año futuro seleccionado como proyecto. Este incremento se compone del crecimiento normal del tránsito, CNT, del tránsito generado, TG, y del tránsito desarrollado, TD.

El crecimiento normal de tránsito, CNT, es el incremento del volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos de las personas. Se utilizará los indicadores del crecimiento del parque vehicular para el propósito del proyecto.

$$CNT = TA(1 + i)^n$$

Dónde:

TA= Tránsito actual

I = Tasa de Crecimiento del Tránsito de Tarija.

n = Año (0, 1, 2, 3,...)

Tabla 4: Índice de Crecimiento del Parque Automotor de Tarija

Índice de Crecimiento del Parque Automotor de Tarija		
2011	i (%)	7.89
2012		
2013		

Fuente: R.U.E.

El tránsito generado, TG, consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los del transporte público, que no se realizarían si no se mejoría el camino. Al tránsito generado se le asignan tasas de incremento entre 5% y el 25% del tránsito actual, con

un periodo de generación de uno o dos años después de que el camino ha sido abierto al servicio.





El tránsito desarrollado, TD, es el incremento del volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente al camino. A diferencia del tránsito generado, TG, el tránsito desarrollado continúa actuando por muchos años más después que el camino ha sido puesto al servicio. Por experiencia indica que en carreteras construidas con altas especificaciones, el suelo lateral tiende a desarrollarse más rápidamente de lo normal, generando un tránsito adicional el cual se considera como tránsito desarrollado, con valores del 5% del tránsito actual.

Las proyecciones de tráfico se muestran en Anexo 3.

2.3.3.2 CLASIFICACIÓN Y VEHÍCULO TIPO DE DISEÑO.-

Los vehículos que transitan por el camino están catalogados de la siguiente manera:

Tabla 5: Configuración vehicular por tipo de Ejes

CÓDIGO	TIPO DE VEHÍCULO	CAPACIDAD (Ton.)	EJES	FIGURA
1	Automóviles y vagonetas	1.5	2	
2	Camionetas	2	2	
C2m	Camión mediano	2.5-10	2	
12	Otros Vehículos	3	2	

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

Dentro de esta organización, el vehículo tipo de diseño es el camión mediano, que se identificó como el más representativo dentro de la corriente de tránsito que circula y circulará por el tramo del camino.

Sus dimensiones del vehículo tipo son:

Ancho total = 2.60 m.

Largo total = 11 m.

Distancia entre parachoques delantero y último eje trasero (L_o) = 9.5 m.

La capacidad de carga de proyecto es de vital importancia para el diseño de pavimentos, que están expresados en el cálculo de los ejes equivalentes.

2.3.3.3 ESTIMACIÓN DE EJES EQUIVALENTES (ESALs).-

Debido al daño que producen los vehículos de diferentes pesos al pavimento, el cálculo de ejes equivalentes denominados ESALs (Equivalent Simple Axial Load), se obtuvo a través de los aforos realizados y acumulados durante el período de diseño, donde se convierten las cargas a un número de repeticiones de cargas equivalente de un eje simple de ruedas duales estándar de 18,000 lb.

El programa de DIPAV 2.1 que es un software que facilita el diseño de pavimento flexible (AASHTO-93), proporciona una hoja electrónica muy útil para calcular el número acumulado de ESALs a partir de datos de tráfico, configuración y tipo de eje.

Tabla 6: Resultado de ejes equivalentes

TIPO DE VEHÍCULO	VOLUMEN DIARIO	TRÁNSITO DE DISEÑO	FACTOR DE CAMIÓN	N° ESALs p/DISEÑO
Automóviles	3	266,450	0.00013	69
Camionetas	4	354,780	0.00031	220
Camión mediano	5	443,110	Eje delantero 0.0036 Eje trasero 0.68988	307,288
Otros vehículos	3	266,450	0.00125	666

Total de vehículos (TPDA)	ESALs de DISEÑO
15	154,122

Fuente: Elaboración propia

La metodología empleada en el cálculo de ejes equivalentes se puede apreciar en Anexo 3.

2.3.4 ESTUDIO HIDROLÓGICO.-

En este estudio obtendremos las intensidades para un determinado periodo de diseño para luego calcular el caudal máximo, en función al tipo de obra de arte a diseñar.

Para ello se realizó lo siguiente:

- Elección del periodo de Retorno (T)
- Recopilación de los datos hidrológicos
- Análisis de los datos hidrológico

2.3.4.1 PERIODO DE RETORNO.-

Se realizó la elección del periodo de retorno denominado al intervalo de tiempo promedio dentro del cual el caudal máximo puede ser igualado o superado al menos una vez en promedio, asumiendo para este proyecto 50 años para alcantarillas y 10 años en cunetas.

2.3.4.2 RECOPIACIÓN DE LOS DATOS HIDROLÓGICOS.-

La información pluviométrica fue proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Se eligió aquella estación pluviométrica próxima a la cuenca de aporte que inciden sobre el proyecto vial.

Tabla 7: Precipitación Máxima en 24 Horas. (mm)

Estación: Guandacay	Lat. S.: 22° 24'
Provincia: Arce	Long. W.: 64° 30'
Departamento: Tarija	Altura: 980 m.s.n.m

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

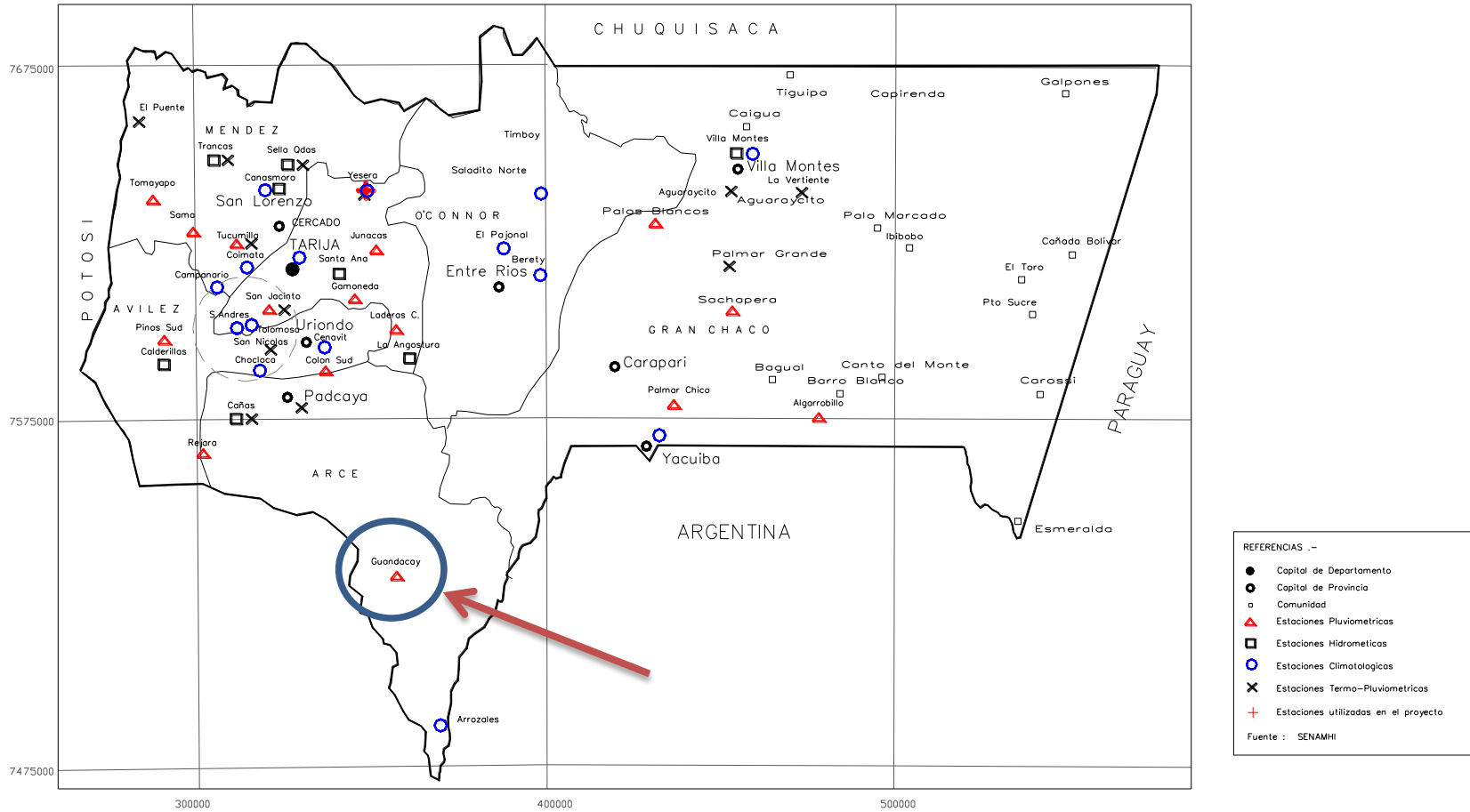


Figura 8: Ubicación De La Estación

2.3.4.3 CÁLCULO DE LA INTENSIDAD MÁXIMA.-

El cálculo de la intensidad máxima se realiza a través de precipitaciones máximas horarias en 24 horas y el tiempo de concentración, haciendo un análisis estadístico de las precipitaciones para un determinado periodo de retorno mediante el modelo Log Pearson III.

Variables estadísticas:

$$\text{Log Natural} = X$$

$$(y-u)^2 = (\text{log Natural} - X_m)^2$$

$$(y-u)^3 = (\text{Log Natural} - X_m)^3$$

$$u_l = \frac{\sum \text{log natural}}{\# \text{ datos}}$$

$$C_{v_l} = \frac{SI}{u_l}$$

$$C_{s_l} = \frac{\sum (y-u)^3}{\frac{\# \text{ datos}}{SI^3}}$$

$$w = \sqrt{\ln \frac{1}{T}}$$

$$k = \frac{C_{s_l}}{6}$$

$$Z = w - \frac{2.51 + 0.80w + 0.010w^2}{1 + 1.43w + 0.19w^2 + 0.0013w^3}$$

$$KT = Z + (Z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(Z^3 - 6Z)k^2 - (Z^2 - 1)k^3 + Zk^4 + \frac{1}{3}k^5$$

$$HT = e^{u_l} * e^{kT*SI}$$

Dónde:

X_m = Media

u_l = Media de log.

S_l = Desviación típica Log.

T = Periodo de retorno

C_{sl} = Coeficiente de sesgo Log.

C_{vl} = Coeficiente de variación Log.

Lluvia máxima horaria menores a 2 horas

$$ht_T = 2 * \left(\frac{(4 * a * t)^{0.5}}{t} \right)$$

$$a = \frac{ht_T^2}{4t}$$

Lluvia máxima horaria mayores a 2 horas y menores a 12 horas

$$ht_T = HT * \left(\frac{\left(\frac{t}{18} \right)^{0.2}}{t} \right)$$

Dónde:

ht_T = Altura de lluvia horaria (mm.)

t = Tiempo de duración de lluvia (horas)

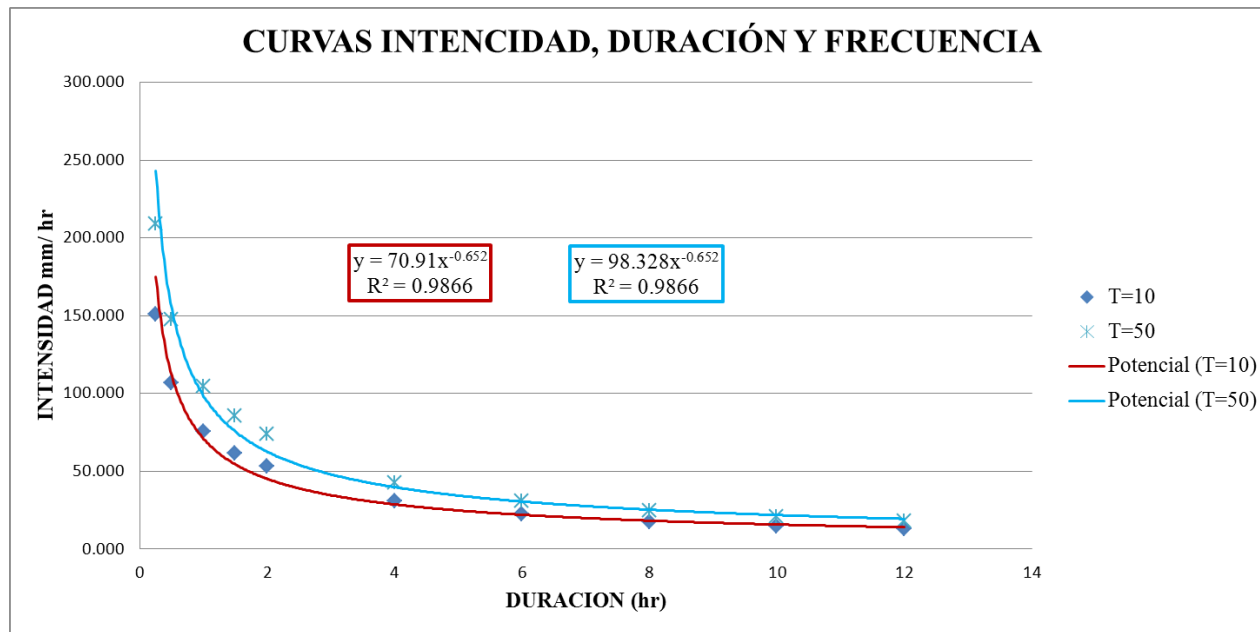


Figura 9: Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia

2.3.4.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.-

Se determina el tiempo de concentración para las diferentes intensidades de los cruces de quebrada a partir de las relaciones empíricas, para luego disponer de un promedio.

- GIAMDOTTI
$$tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{25.3 \cdot J \cdot L}$$
- KIRQICH Z.P. (Californiana)
$$tc = \left(\frac{0.871 \cdot L^3}{H} \right)^{0.385}$$
- BASSO E.
$$tc = 0.066 \left(\frac{L}{\sqrt{J}} \right)^{0.77}$$

t_c = tiempo de concentración (hr.)

A = Área de la cuenca (km²)

L = Longitud del río principal (km)

J = Pendiente media del río (m/m)

H = Diferencia de elevación (m.)

La **Intensidad máxima** para determinar el caudal de diseño en alcantarillas de cruce será:

$$i = 98.328 * t_c^{-0.652}$$

Dónde:

i = Intensidad máxima (mm/hr), para un periodo de retorno de 50 años.

t_c = tiempo de concentración,(hr)

Tabla 8: Intensidades para las alcantarillas de cruce

Unidad o Cuenca	Curso Principal	Intensidad I (mm/hr)
		T = 50
1	Quebrada S/N 1	374.38
2	Quebrada S/N 2	379.19
3	Quebrada S/N 3	435.57
4	Quebrada S/N 4	350.19
5	Quebrada S/N 5	397.70
6	Quebrada S/N 6	443.70
7	Quebrada S/N 7	428.13

Fuente: Elaboración propia

La intensidad para el diseño de la cuneta será:

$$i = 70.91 * tc^{-0.652}$$

$$i = 228.067 \text{ mm/hr.}$$

i = Intensidad máxima (mm/hr), para un periodo de retorno de 10 años.

$t_c = 0.17$ hr, tiempo de concentración mínimo de 10 min, recomendada por la A.B.C.(Administradora Boliviana de Carreteras).

El cálculo de las intensidades se detalla en Anexo 4.

2.4 DISEÑO GEOMÉTRICO.-

El diseño geométrico corresponderá a definir un eje longitudinal tratando de ajustar curvas mejorando así sus condiciones geométricas, el diseño en planta como perfil de tal manera que ofrezca seguridad, comodidad y estética para el conductor como para los peatones.

2.4.1 PARÁMETROS DE DISEÑO.-

Para encarar adecuadamente el diseño geométrico de un camino los parámetros son fundamentales, ya que se toma en cuenta diferentes factores que influyen en nuestro diseño tales son los funcionales, físicos, operativos y económicos.

2.4.1.1 DERECHO DE VÍA.-

Consiste en la franja de terreno a cada lado de la vía de 50 metros, medida horizontal y perpendicularmente a partir del eje de la carretera. Establecido de acuerdo a la Administradora Boliviana de carreteras (A.B.C.).

2.4.1.2 TIPOS DE VELOCIDADES EN EL DISEÑO.-

Las velocidades consideradas en este proyecto son:

Velocidad de proyecto (Vp).- Velocidad que permite definir las características mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad.

Velocidad específica (Ve).- Es la máxima velocidad que puede circular un vehículo a lo largo del trazado en condiciones de seguridad y comodidad.

Tabla 9: Velocidades específicas en curvas horizontales

R (m)	e %	Ve (km/h)
25	7.0	30.1
30	7.0	32.7
40	7.0	37.2
50	7.0	41.1
60	7.0	44.6
70	7.0	47.7
80	7.0	50.5

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

2.4.1.3 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO.-

El Proyecto a diseño final de ingeniería "SAN TELMO RÍO BERMEJO - COOPERATIVA J. KENNEDY", se categoriza como un Camino de Desarrollo como se puede apreciar en el cuadro siguiente, que se empleará para designar una vía de características geométricas medias a mínimas, adecuadas para dar servicio a volúmenes moderados y bajos de tránsito, cuya función principal consiste en dar acceso a la propiedad adyacente.

Tabla 10: Clasificación funcional para Diseño de Carreteras y Caminos Rurales

CATEGORÍA		SECCIÓN TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	CÓDIGO TIPO
		N° CARRILES	N° CALZADAS		
Autopista	(O)	4 ó + UD	2	120 – 100 – 80	A (n) – xx
Autoruta	(I.A)	4 ó + UD	2	100 – 90 – 80	AR (n) - xx
Primario	(I.B)	4 ó + UD	2(1)	100 – 90 – 80	P (n) - xx
		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

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

La velocidad de proyecto de acuerdo a la categoría y el tipo de terreno (ondulado medio) será de 40 km/hr.

2.4.1.4 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE FRENADO, DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO, VISIBILIDAD EN CURVAS HORIZONTALES.-

Un camino debe ser diseñado de manera tal que el conductor cuente siempre con una visibilidad suficiente como para ejecutar con seguridad las diversas maniobras a que se vea obligado o que decida efectuar.

a) Distancia de frenado.-

En todo punto de un camino, un vehículo en movimiento, ante la aparición de un obstáculo 0.20 m de alto que es percibido por el conductor necesita una distancia suficiente para detenerse.

$$D_f = dt + df$$

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

Dónde:

D_f = Distancia de frenado (m)

V = Velocidad de proyecto

t = tiempo de percepción + reacción (s)

f_1 = Coeficiente de roce rodante, pavimento húmedo.

i = Pendiente longitudinal (m/m)

dt = Distancia recorrido durante el tiempo de percepción + reacción

df = Distancia recorrida durante el frenado hasta la detención junto al obstáculo.

Tabla 11: Distancia Mínima de Frenado

V	t	f_1	dt	df	Df (m)	
km/h	s	-	m	m	dt + Df	Adoptada
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
55	2					60
60	2	0.460	33.3	35.5	68.8	70
65	2					80
70	2	0.380	38.9	50.8	89.7	90

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

b) Distancia de adelantamiento.-

La distancia de adelantamiento “ D_a ”, equivale a la visibilidad mínima que requiere un conductor para adelantar a un vehículo que se desplaza a velocidad inferior a la de proyecto.

En el siguiente cuadro se muestran los valores mínimos a considerar en el diseño como visibilidades adecuadas para adelantar.

Tabla 12: Distancia mínima de adelantamiento

Velocidad de Proyecto km/h	Distancia Mínima de Adelantamiento (m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

c) Visibilidad en curvas horizontales.-

Cuando un vehículo recorre una curva horizontal, cualquier obstáculo al borde interior del camino, debido a la presencia de taludes de corte, muros, arboles, etc., impiden la visión al conductor hacia adelante y por lo tanto la curva es peligrosa.

Si el diseño es para proporcionar una circulación segura, esta distancia horizontal de visibilidad debe ser igual o exceder a la distancia de visibilidad de frenado. Como se ve en la figura 10.

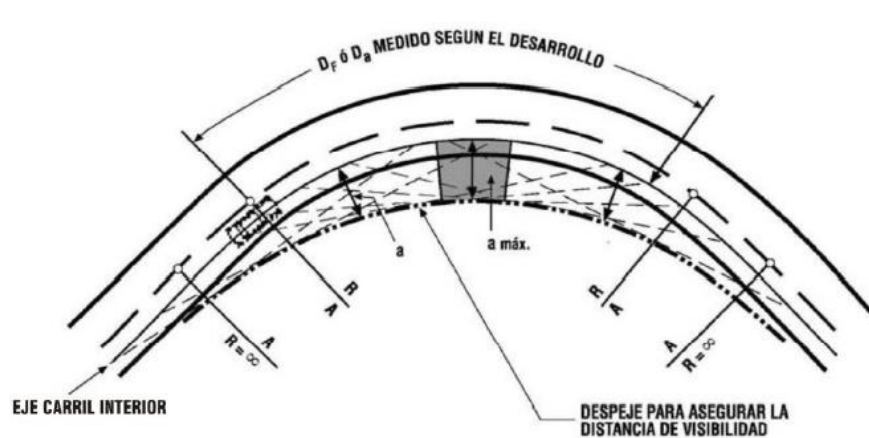


Figura 10: Distancia horizontal de visibilidad

En la zona sombreada ilustra el valor “a máx.” requerido para lograr la visibilidad necesaria. Este valor puede ser calculado analíticamente a partir de la expresión:

$$a \text{ max} = R \left[1 - \cos \left(\frac{100 * Df}{\pi * R} \right) \right]$$

Reemplazando en la ecuación:

Tabla 13: Despeje lateral

Radio (m)	Despeje lateral a (m)
R = 50	4.40
R = 60	3.68
R = 65	3.40
R = 75	2.95
R = 80	2.77
R = 85	2.61
R = 95	2.34
R = 100	2.22
R = 200	1.11

Fuente: Elaboración propia.

2.4.1.5 LONGITUDES MÁXIMAS EN RECTA.-

Se procurará evitar longitudes en recta superiores a:

$$L_r \text{ (m)} = 20 * V_p \text{ (km/h)} = 20 * 40 = 800 \text{ m.}$$

Dónde:

L_r = Longitud máxima de recta

V_p = Velocidad de Proyecto (km/hr).

2.4.1.6 LONGITUDES MÍNIMAS EN RECTA.-

Se debe distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distinto sentido o curvas en “S” de aquellas correspondientes a curvas en el mismo sentido.

- **Tramos rectos intermedios de mayor longitud**, deberán alcanzar o superar los mínimos que se señalan, los que responden a una mejor definición óptica

del conjunto que ya no opera como una curva en S propiamente tal, y están dados por :

$$Lr \text{ mín} = 1.4 * Vp = 56 \text{ m.}$$

- **Tramo recto entre curvas en el mismo sentido:**

Por condiciones de guiado óptico es necesario evitar las rectas excesivamente cortas entre curvas en el mismo sentido, en especial en terreno llano y ondulado suave con velocidades de proyecto medias y altas.

Valor mínimo de recta entre curvas horizontales del mismo sentido para nuestro proyecto es de 55 m según la tabla siguiente.

Tabla 14: Longitud mínima en recta

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

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

2.4.1.7 PERALTE, COEFICIENTE DE FRICCIÓN.-

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

Tabla 15: Peralte máximo y fricción transversal

	e máx.	f
Caminos Vp 30 a 80 km/h	7%	0.265-V/602.4
Carreteras Vp 80 a 120 km/h	8%	0.193-V/1134

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

El coeficiente de fricción “f” según la ecuación tendrá un valor de 0.198 para la velocidad de proyecto de 40 km/h.

- **Peraltes en curvas circulares.-**

El criterio propuesto consiste, a medida que aumente el radio de curva circular por encima del mínimo, se reducirá gradualmente el peralte “e”.

Esta reducción gradual se realizará en relación curvilínea entre los peraltes y radio de la curva conforme a la siguiente expresión:

$$e = e_{\max} * \left(\frac{2 * R_{\min}}{R} - \frac{R_{\min}^2}{R^2} \right)$$

- Desarrollo de peralte en curvas circulares

Para pasar de una sección transversal con bombeo a otra con peralte, es necesario hacerlo gradualmente, a este segmento se lo denomina “longitud de transición de peralte”.

Si en la curva circular horizontal se ha previsto la construcción de espirales de transición, la transición de peralte se realiza en la longitud de la espiral de transición.

Cuando solo se dispone de curvas circulares, se realiza la transición, una parte en recta y otra parte sobre la curva, bajo el criterio de que por lo menos 1/3 de la longitud de la curva tenga el peralte completo. Figura 11.

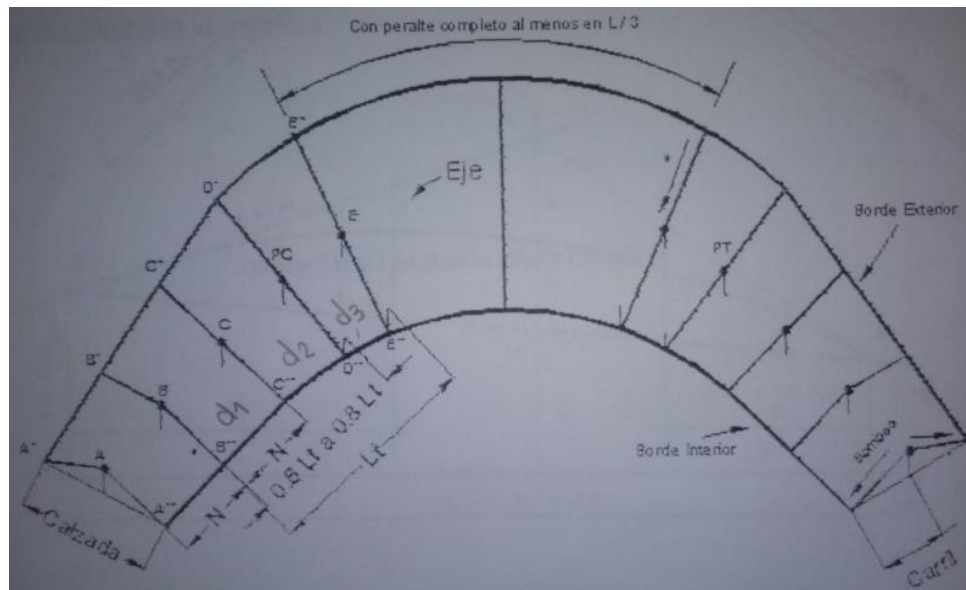


Figura 11: Curva circular con transición de peralte

En caminos bidireccionales, el giro normalmente se dará en torno al eje en planta que coincide con el eje de simetría de la calzada, la longitud para la transición queda dada por:

$$L_t = \frac{\text{carril} * e}{\Delta}$$

L_t = Longitud del desarrollo del peralte (m.)

Δ = Pendiente relativa de borde de la calzada, respecto de la pendiente longitudinal del eje de la vía (%), cuyos valores normales y máximos, tabla 16.

e = Peralte

b = bombeo

$$N = \frac{\text{carril} * b}{\Delta}$$

Tabla 16: Pendiente relativa de borde de la calzada

V _p (km/h)	30-50	60-70	80-90	100-120
Δ Normal	0.7	0.6	0.5	0.35
Δ Max n=1	1.5	1.3	0.9	0.8
Δ Max n > 1	1.5	1.3	0.9	0.8

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

2.4.1.8 RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS.-

El radio que se considera en el diseño en planta como un valor límite es el radio mínimo para la velocidad de proyecto dada, calculado bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento, están dados por la expresión:

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

R mín.: Radio Mínimo (m.)

V_p: Velocidad de Proyecto (km/hr.)

e máx.: Peralte máximo (m/m)

f: coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a V_p.

El radio mínimo para el diseño del Proyecto es de 50 metros, como se puede apreciar en la tabla siguiente.

Tabla 17: Radio mínimo

Camino de desarrollo			
V _p (km/hr.)	e máx. (%)	f	R min.(m)
30	7	0.215	25
40	7	0.198	50
50	7	0.182	80
60	7	0.165	120
70	7	0.149	180
80	7	0.132	250

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

2.4.1.9 SOBREANCHO EN CURVAS CIRCULARES.-

Se deberá ensanchar la calzada con el objeto de ofrecer condiciones de seguridad entre vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales.

Como mínimo se considerarán ensanches para dos vehículos tipo con $L_o = 9,5$ m. Según sean las características del trazado y función que preste la ruta.

Tabla 18: Ensanche de la calzada e (m) (permite el cruce de 2 vehículos del mismo tipo)

CALZADA EN RECTA 6m. $0.35m \leq E \leq 3.20$ m. $h_1=0.45m$ $h_2=0.05m$					
Camión Unid. Simple $L_t=11$ m.	$L_o = 9.5$	$(L_o^2/R)+0.15$	$55 E$	$0.45 E$	$30 \leq R \leq 450$

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

L_t = Largo Total del Vehículo.

L_o = Distancia entre parachoques delantero y último eje trasero.

El Ensanche Total “E (m)” se limitará a un máximo de 3,20 m y un mínimo de 0,35 m en calzadas de 6,0 m.

Si el ensanche interno calculado ≤ 0.35 m, se adopta ensanche externo = 0 y se da todo el ensanche al interno.

El detalle de los sobre anchos se muestran en anexo 5.

- **Desarrollo del sobreancho.-**

Un desarrollo de 40 m. en la recta precedente a la curva resulta adecuado cualquiera que sea la magnitud del ensanche y, si el tramo recto es de menor longitud, el ensanche deberá desarrollarse en la longitud existente, la que en todo caso se procurará no sea menor de 30 m.

Si la curva de transición es menor de 40 m el desarrollo del sobreancho se ejecutará en la longitud de arco de enlace disponible.

2.4.1.10 PARÁMETRO “A” Y LONGITUD DE LA CURVAS DE TRANSICIÓN.-

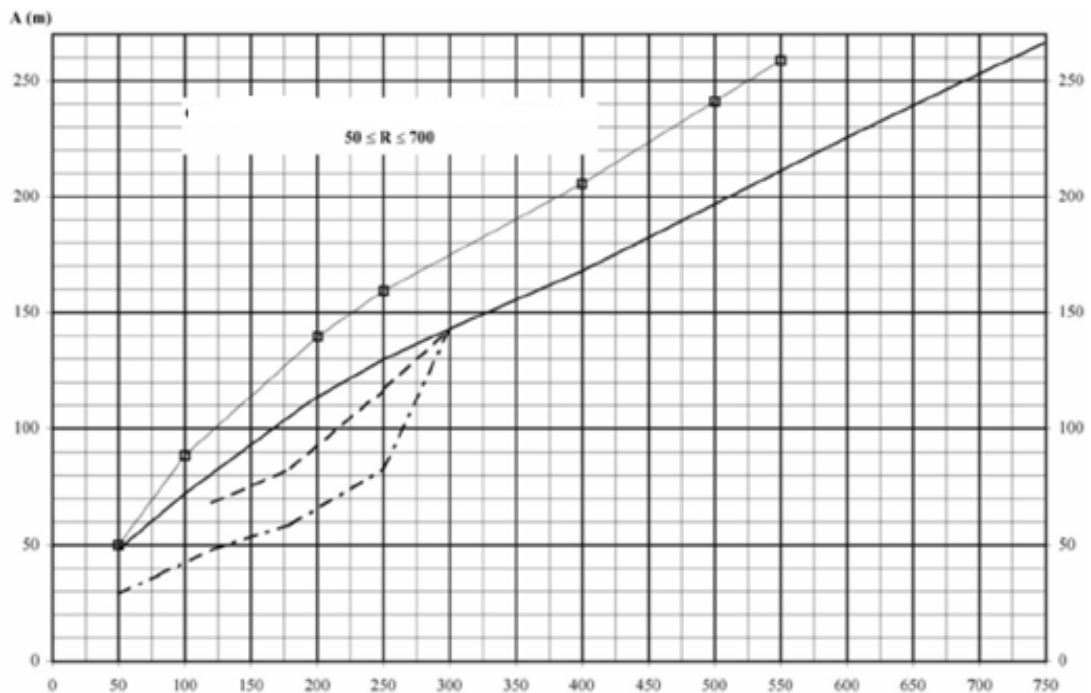
La ecuación de la curva de transición, está dada por la expresión.

$$R * L = A^2$$

L: Desarrollo de la curva, desde el origen hasta el punto de radio, (m).

A: Parámetro de la curva de transición, (m).

Tabla 19: Parámetro de la curva de transición



Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

- Se evitará el uso de esta curva de transición si, $R > 95$ m.

Tabla 20: Radio a partir de los cuáles se puede evitar el uso de curvas de transición

Velocidad de proyecto (km/h)	RADIO MÁXIMO (m)
30	54
40	95
50	148
60	213
70	290
80	379
90	480
110	592
120	852

Fuente: AASHTO-1994

2.4.1.11 SECCIÓN TIPO.-

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

El ancho de la vía depende de la capacidad de tránsito, las dimensiones máximas de los vehículos y la velocidad de los mismos siendo, así el elemento más importante de la sección transversal es la calzada.

Dimensiones adoptadas:

Ancho de carril (a) = 3.0 metros

Derecho de vía = 50 metros

Berma (b) = 0.5 metros

Sobre anchos de plataforma (SAP) = 0.5 metros

Dimensiones establecidas de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 21: Resumen de secciones transversales tipo

NÚMERO DE CALZADA Y CATEGORÍA		VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	ANCHO DE CARRIL a (m)	ANCHO DE BERMAS (b)		ANCHO SAP		ANCHO TOTAL DE PLATAFORMA A NIVEL DE RASANTE
				Interior (m)	Exterior (m)	Interior (m)	Exterior (m)	2 carril
CALZADA BIDIRECCIONAL	DESARROLLO	50	3.0-3.5	-	0.5-1.0	-	0.5	8.0-10.0
		40	3.0	-	0.0-0.5	-	0.5	7.0-8.0
		30	2.0-3.0	-	0.0-0.5	-	0.5	5.0-6.0

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

SECCIÓN TIPO DE CAMINO DE DESARROLLO

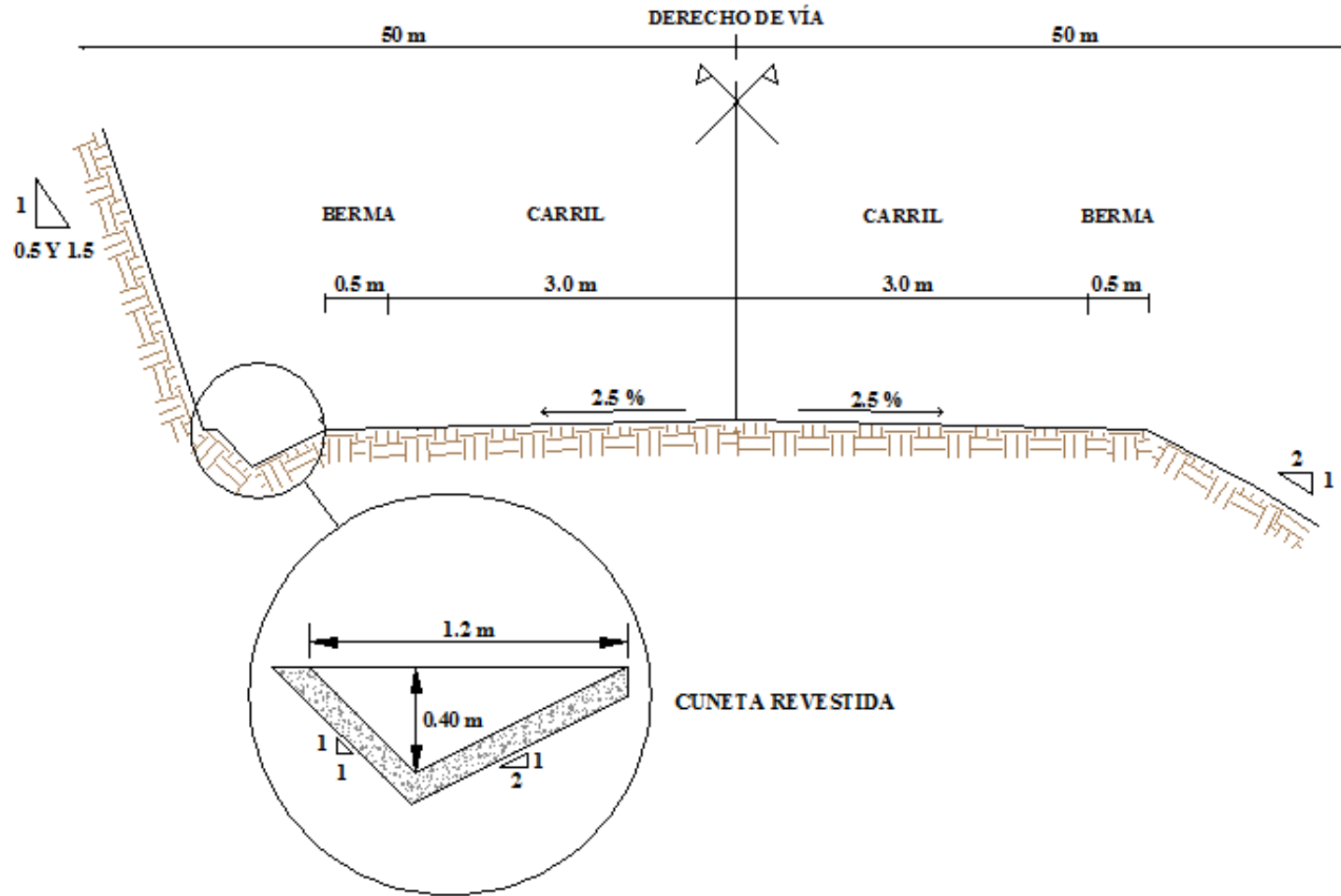


Figura 12: Sección tipo

2.4.1.12 TALUD DE CORTE Y RELLENO.-

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

El cálculo de estabilidad del talud se amplía en la sección de diseños complementarios

El talud de corte utilizado en el diseño del Proyecto es:

Tabla 22: Talud de Corte

Prog. Inicial	Prog. Final	Talud	Características Geotécnicas
0+000	4+300	1V:1/2H	Limos Inorgánicos y arenas muy finas limosas o arcillas, con baja plasticidad.
4+300	5+056	1V:1.5H	Arenas Limosas

Fuente: Elaboración Propia

Cuando un camino se emplaza en terraplén, los materiales de éste provendrán de las excavaciones hechas en otros puntos del trazado.

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

El talud de relleno utilizado en el diseño del Proyecto, es de 1:2 (V: H) de acuerdo a la estabilidad de Taludes.

El análisis se detallará en la sección diseño complementario.

2.4.1.13 LAS BERMAS.-

Son fajas laterales a la superficie de rodadura de un camino que en tramos en tangente tienen la misma inclinación y en tramos en curvas el mismo peralte siendo estos elementos de seguridad para los vehículos, sirviendo de estacionamiento para los vehículos que se detienen como también facilitando el paso y dando protección lateral a la superficie de rodadura.

2.4.1.14 SOBREENCHOS DE PLATAFORMA (SAP).-

El sobreencho de plataforma mínimo es de 0.5 metros que permite confinar las capas subbase y base de tal manera que la parte exterior de la berma pueda alcanzar el nivel de compactación especificado.

Tabla 23: Pendiente transversal del SAP

SIEMPRE	PENDIENTE TRANSVERSALES DEL SAP
En recta	is (siempre) = -10%
Zona transición peralte	Para $b \leq e \leq 0.0$; is = -10%
Extremo alto de la plataforma	Para $0.0 < e \leq 3\%$; is = $-(10-2e)\%$ Para $e > 3\%$; is = -4%
Extremo bajo de la plataforma	Para todo e ; is = -10%

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

2.4.1.15 BOMBEO.-

EL propósito del bombeo es evacuar las aguas superficiales de la calzada, el bombeo que debe emplearse depende de la intensidad de lluvia y clase de superficie.

Tabla 24: Pendiente Transversal de la Calzada

Tipo de superficie	PENDIENTE TRANSVERSAL	
	$I \leq 15\text{MM}/\text{H}$	$I > 15\text{MM}/\text{H}$
PAV. DE HORMIGÓN O ASFALTO	2%	2.5%
TRATAMIENTO SUPERFICIAL	3%	3.5%
TIERRA, GRAVA, CHANCADO	3-3.5%	3.5-4%

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.)

2.4.1.16 LONGITUD MÍNIMA DE CURVAS VERTICALES.-

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

$$2*T \text{ (m)} \geq | V_p \text{ (km/h)} |$$

Dónde:

T: longitud de la curva (m).

V_p: Velocidad de proyecto (km/hr.)

2.4.1.17 PENDIENTES MÍNIMAS Y MÁXIMAS.-

La pendiente longitudinal mínima en el alineamiento es de 0,5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un buen drenaje, pero si la calzada posee un bombeo de 2.5% se podrán aceptar pendientes de hasta 0.20%.

La selección de la pendiente longitudinal máxima está relacionada con la categoría de la vía y velocidad de proyecto, como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 25: Pendiente máxima de la rasante

CATEGORIA	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)									
	≤ 30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	9 -12	10 - 9	9	-	-	-	-	-	-(1)	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4.5	-	-
Autorutas	-	-	-	-	-	6	5	4.5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4.5	-	-

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (ABC)

2.4.1.18 PLANILLA DE PARÁMETROS DE DISEÑO.-

Tabla 26: Resultado de los parámetros de diseño

TIPO DE TOPOGRAFÍA: ONDULADO MEDIO		
ALINEAMIENTO EN PLANTA		
Velocidad de proyecto (Vp):	40	Km/h
Coefficiente de fricción transversal máximo (f):	0.198	
Coefficiente de roce rodante (f1):	0.415	
Bombeo (b):	2.5	%
Peralte máximo (e max.):	7	%
Radio mínimo (R min.):	50	m
Sobreechancho (E):	1.95	m
Distancia de frenado (Df):	38	m
Distancia de adelantamiento mínimo (Da):	240	m
Distancia de visibilidad en curvas (a max.):	4.40	m
Longitud máxima en rectas (L max.):	800	m
Longitud mínima tramos intermedios (Lr min.):	56	m
Longitud mínima en curvas del mismo sentido (Lr min.):	55	m
LINEAMIENTO EN PERFIL		
Pendiente mínima :	0.2	%
Pendiente máxima :	10	%
Longitud mínima en curvas verticales (L min):	40	m

Fuente: Elaboración Propia

2.4.2 GEOMETRÍA EN PLANTA.-

Es el trazado del camino donde trata de analizar la ubicación de la proyección del eje longitudinal que es una sucesión de rectas y curvas, que conforman la geometría particular.

2.4.2.1 ALINEAMIENTO.-

Consiste en dibujar una línea sobre el plano digitalizado de curvas de nivel y representa al eje del camino, con la ayuda del programa AutoCAD Civil 3D se realiza esta operación.

El trazado se verificará tratando de que el alineamiento quede dentro de la faja de levantamiento topográfico, tomando en cuenta las restricciones de tipo social y técnico.

2.4.2.2 ENLACE CON CURVAS HORIZONTALES.-

Son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas.

En la siguiente figura se ilustran los elementos asociados a una curva circular.

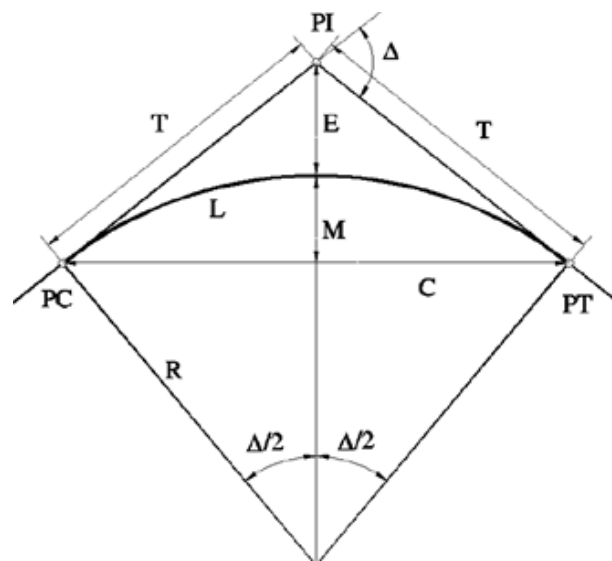


Figura 13: Elementos de curva circular

Longitud de Tangente:	$T = R * \tan \frac{\Delta}{2}$
Longitud de cuerda:	$C = 2 * R * \sen \frac{\Delta}{2}$
Flecha:	$M = R * (1 - \cos \frac{\Delta}{2})$
Externa:	$E = R * \left(\sec \frac{\Delta}{2} - 1 \right) = R * \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right)$
Long de curva:	$L = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$

$$\text{Prog PC} = \text{Prog. PI} - T$$

$$\text{Prog PT} = \text{Prog. PC} + L$$

PI = Punto de Intersección

PC = Punto de Curvatura

PT = Punto de Tangencia

Δ = Angulo de Deflexión

Elementos de la curva de transición:

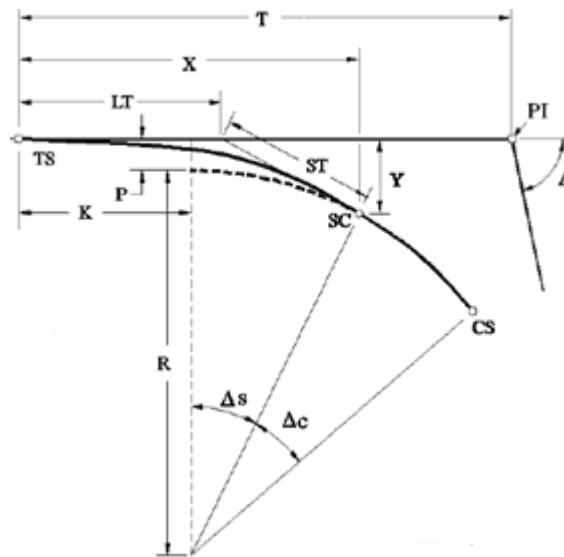


Figura 14: Elementos de curva de transición

Desplazamiento: $P = \frac{L^2}{24 \cdot R}$ debe ser mayor a 0.25 m.

Ángulo de la espiral: $\Delta_s = \frac{90 \cdot L}{\pi \cdot R}$ en grados.

Punto de desplazamiento: $K = \frac{L}{2} - \frac{L^2}{240 \cdot R^2}$

Distancia al eje: $TS = (R + P) \cdot \left(\tan \frac{\Delta}{2} \right) + K$

Tangente larga: $LT = X_p - \frac{Y_p}{\tan \Delta_s}$

Tangente corta: $ST = \frac{Y_c}{\text{sen} \Delta_s}$

Distancia, en la dirección de la tangente, desde el comienzo hasta el final del espiral:

$$X_p = L - \frac{L^3}{40 * R^2}$$

Distancia, perpendicular a la tangente, desde el comienzo hasta el final del espiral:

$$Y_p = \frac{L^2}{6 * R} - \frac{L^4}{336 * R^3}$$

$$\text{Prog TS} = \text{Prog. PI} - \text{TS}$$

$$\text{Prog SC} = \text{Prog. TS} + L$$

$$\text{Prog CS} = \text{Prog. SC} + L_c$$

Dónde:

Δ = Ángulo delta total

TS = Punto Tangente a Espiral

SC = Punto Espiral a Curva

PI = Punto de Intersección

L = Longitud de Espiral

2.4.2.2 DIMENSIONAMIENTO.-

Tabla 27: Resultado del diseño en planta

CURVA # 1		
CURVA CIRCULAR CON TRANSICIÓN		
	TS: 0+048.23	ST: 0+092.85
V _p =	40 km/h	
e =	6.8 %	
f =	0.198	
R _{min} =	50 m	
ELEMENTOS DE LA CURVA DE TRANSICIÓN		
Ve =	44.60 km/h	Velocidad Específica
R =	60.00 m	Radio de la Curva Circular
Δ _c =	8.23 g°	Deflexión de la curva circular
A =	32.86 m	Parámetro de la transición
L =	18.00 m	Longitud de la Espiral
Δ _s =	8.59 g°	Ángulo de deflexión espiral
Δ =	25.42 g°	Ángulo de deflexión
COORDENADAS		
X _p =	17.96 m	
Y _p =	0.90 m	
p =	0.22 m	
k =	8.99 m	
LT =	12.01 m	
ST =	6.01 m	

Fuente: Elaboración propia

El diseño en planta de las demás curvas horizontal se puede apreciar en anexo 5.

Tabla 28: Planilla de elementos de curva circular

#	PC	PI	PT	SENTIDO	Δc	R	L	C	E	M
1	0+066.23	0+70.55	0+074.85	IZQUIERDA	8.23	60	8.62	8.61	0.16	0.15
2	0+252.18	0+261.43	0+270.63	IZQUIERDA	10.57	100	18.45	18.42	0.43	0.43
3	0+323.80	0+330.67	0+337.51	DERECHA	8.27	95	13.72	13.70	0.25	0.25
4	0+497.13	0+516.31	0+534.77	DERECHA	26.95	80	37.63	37.29	2.27	2.20
5	0+677.18	0+682.89	0+688.68	IZQUIERDA	8.71	75	11.40	11.39	0.22	0.22
6	0+811.60	0+826.00	0+840.36	IZQUIERDA	8.24	200	28.75	28.73	0.52	0.52
7	1+241.98	1+251.34	1+260.65	DERECHA	10.70	100	18.67	18.64	0.44	0.44
8	1+306.38	1+323.33	1+339.07	DERECHA	37.45	50	32.68	32.10	2.79	2.65
9	1+403.51	1+433.79	1+457.96	IZQUIERDA	62.40	50	54.45	51.80	8.45	7.23
10	1+518.61	1+539.42	1+559.64	IZQUIERDA	23.51	100	41.03	40.74	2.14	2.10
11	1+670.62	1+684.67	1+698.67	IZQUIERDA	8.04	200	28.05	28.03	0.49	0.49
12	1+865.39	1+884.61	1+903.36	DERECHA	21.75	100	37.97	37.74	1.83	1.80
13	1+955.06	1+984.33	2+010.06	IZQUIERDA	48.48	65	55.00	53.37	6.28	5.73
14	2+152.02	2+181.43	2+205.19	DERECHA	60.92	50	53.17	50.70	8.01	6.90
15	2+396.34	2+405.57	2+414.72	IZQUIERDA	12.39	85	18.38	18.34	0.50	0.50
16	2+544.23	2+550.97	2+557.69	IZQUIERDA	8.12	95	13.46	13.44	0.24	0.24
17	2+593.04	2+599.68	2+606.24	IZQUIERDA	15.12	50	13.20	13.16	0.44	0.43
18	2+669.28	2+690.45	2+709.33	DERECHA	45.89	50	40.05	38.99	4.30	3.96
19	2+788.45	2+799.96	2+811.37	IZQUIERDA	13.13	100	22.92	22.87	0.66	0.66
20	2+864.02	2+889.09	2+913.04	IZQUIERDA	29.57	95	49.02	48.48	3.25	3.14
21	2+934.84	2+939.43	2+944.01	DERECHA	8.08	65	9.17	9.16	0.16	0.16
22	2+962.89	2+982.08	3+000.76	IZQUIERDA	22.84	95	37.87	37.61	1.92	1.88
23	3+115.43	3+117.20	3+118.96	IZQUIERDA	3.12	65	3.54	3.53	0.02	0.02
24	3+153.78	3+192.13	3+226.68	DERECHA	43.96	95	72.89	71.12	7.45	6.91
25	3+243.86	3+245.92	3+247.97	IZQUIERDA	3.62	65	4.11	4.11	0.03	0.03
26	3+265.06	3+315.33	3+358.21	DERECHA	53.37	100	93.15	89.82	11.92	10.65
27	3+528.56	3+542.64	3+556.52	IZQUIERDA	16.87	95	27.96	27.86	1.04	1.03
28	3+604.54	3+613.08	3+621.46	DERECHA	19.39	50	16.92	16.84	0.72	0.71
29	3+744.18	3+768.08	3+791.01	IZQUIERDA	28.24	95	46.83	46.36	2.96	2.87
30	3+810.38	3+817.96	3+825.46	DERECHA	13.29	65	15.08	15.05	0.44	0.44
31	3+896.32	3+915.87	3+934.94	DERECHA	22.13	100	38.62	38.38	1.89	1.86
32	3+965.49	4+024.30	4+052.11	IZQUIERDA	99.26	50	86.62	76.19	27.19	17.61
33	4+119.33	4+123.05	4+126.75	IZQUIERDA	8.50	50	7.42	7.41	0.14	0.14
34	4+180.51	4+184.76	4+188.98	DERECHA	9.70	50	8.47	8.46	0.18	0.18
35	4+270.74	4+284.93	4+298.39	DERECHA	31.69	50	27.65	27.30	1.97	1.90
36	4+490.76	4+510.72	4+530.15	IZQUIERDA	22.57	100	39.39	39.13	1.97	1.93
37	4+604.89	4+613.16	4+621.39	DERECHA	9.95	95	16.50	16.48	0.36	0.36
38	4+721.76	4+731.33	4+740.85	IZQUIERDA	10.94	100	19.09	19.06	0.46	0.46
39	4+824.74	4+831.00	4+837.20	DERECHA	14.28	50	12.46	12.43	0.39	0.39
40	4+958.75	4+970.04	4+981.24	IZQUIERDA	12.89	100	22.49	22.44	0.64	0.63

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29: Planilla de elementos de curvas de transición

Progresiva			CURVA DE TRANSICIÓN									
#	TS	ST	A	Δs	L	X	Y	P	K	LT	ST	TS
1	0+048.23	0+092.85	32.86	8.5942	18	17.96	0.90	0.22	8.99	12.01	6.01	17.90
4	0+479.13	0+552.77	37.95	6.4457	18	17.98	0.67	0.17	9.00	12.01	6.01	33.05
5	0+661.18	0+704.58	34.64	6.1115	16	15.98	0.57	0.14	8.00	10.67	5.34	17.77
8	1+288.38	1+357.07	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	31.25
9	1+385.51	1+475.96	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	45.99
13	1+938.06	2+027.06	33.24	7.4927	17	16.97	0.74	0.19	8.50	11.34	5.68	43.13
14	2+134.02	2+223.19	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	45.01
15	2+378.34	2+432.72	39.12	6.0665	18	17.98	0.63	0.16	9.00	12.01	6.01	22.83
17	2+575.04	2+624.24	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	20.34
18	2+651.28	2+727.33	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	35.83
21	2+917.85	2+961.01	33.24	7.4927	17	16.97	0.74	0.19	8.50	11.34	5.68	17.41
23	3+098.43	3+135.96	33.24	7.4927	17	16.97	0.74	0.19	8.50	11.34	5.68	14.55
25	3+226.71	3+264.83	33.24	7.4927	17	16.97	0.74	0.19	8.50	11.34	5.68	14.84
28	3+586.54	3+639.46	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	22.32
30	3+793.38	3+842.46	33.24	7.4927	17	16.97	0.74	0.19	8.50	11.34	5.68	20.45
32	3+947.49	4+070.11	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	80.22
33	4+101.33	4+144.75	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	17.32
34	4+162.51	4+206.98	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	17.86
35	4+252.74	4+316.39	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	28.29
39	4+806.74	4+855.20	30	10.313	18	17.94	1.08	0.27	8.99	12.02	6.02	19.95

Fuente: Elaboración Propia

2.4.3 GEOMETRÍA EN PERFIL.-

Es la proyección sobre un plano vertical del trazado en planta a esta línea se la denomina subrasante, las pendientes que se adapten para esta no deben sobrepasar al 10%, es necesario que el cambio se realice gradualmente para esto se usan las llamadas curvas verticales.

2.4.3.1 ENLACE CON CURVAS VERTICALES.-

Después de haber definido la subrasante en el perfil longitudinal, corresponde el diseño de curvas verticales, que sirven para pasar gradualmente de un tramo a otro con diferentes pendientes.

Toda vez que el valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida sea mayor o igual que 0.5%, se deberá proyectar una curva vertical para enlazar las rasantes.

Ecuación paramétrica de la curva vertical

$$L_v = 2T$$

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

Dónde:

θ : Diferencia algebraica de las pendientes

K: Parámetro de la curva vertical

2T: Longitud de la curva (m.)

i_1 y i_2 : (+) Pendiente de Subida, (-) Pendiente de Bajada

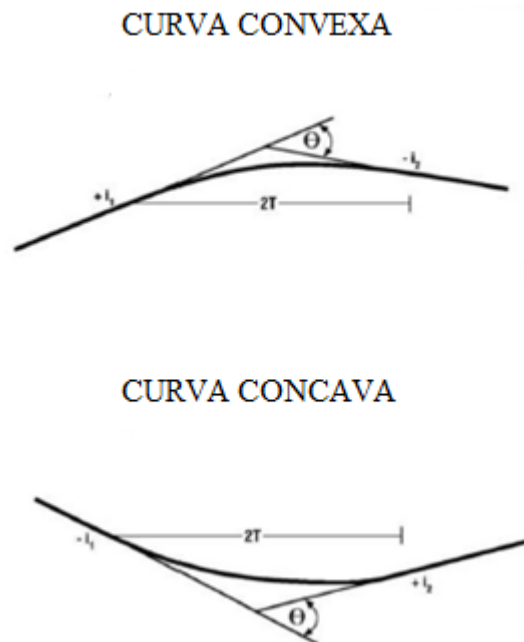


Figura 15: Curva vertical

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

$$K = 2 * T \text{ mínimo} / \theta = V_p / \theta$$

2.4.3.1.1 DIMENSIONAMIENTO.-

Tabla 30: Resultado del diseño en perfil

CURVA # 1	
CURVA VERTICAL CONVEXA	
Estación (m)	Elevación (m)
PCV: 0+078.09	545.002m.
PIV: 0+098.09	546.424m.
FCV: 0+118.09	546.572m.
$V_p = 40$ km/hr.	Velocidad de Proyecto
$f_1 = 0.415$	Coefficiente de fricción
$t = 2$ s	Tiempo de reacción y percepción
$i_1 = 7.11\%$	Pendiente de Entrada
$i_2 = 0.74\%$	Pendiente de Salida
$D_f = 38$ m	Distancia de frenado
CONDICIÓN DE DISEÑO	
$\theta = 6.36\%$	> 0.50%
Cumple la condición mínima de diseño	
$K_v = 6.29$ m	
$L_{min} = 40$ m	

Fuente: Elaboración propia

Las curvas verticales se detallaran en Anexo 5.

2.4.3.1.2 PLANILLA DE ELEMENTOS.-

Tabla 31: Resultado del diseño en perfil

PLANILLA DE ELEMENTOS								
N°	Curva	Tipo	Vp (km/h)	i 1	i 2	Ø	k	L (m)
1	Convexa	Simétrica	40	7.11%	0.74%	6.36%	6.29	40.00
2	Cóncava	Simétrica	40	0.74%	9.44%	8.70%	4.69	40.75
3	Convexa	Simétrica	40	9.44%	1.48%	7.96%	5.03	40.00
4	Convexa	Simétrica	40	1.48%	-6.07%	7.55%	5.30	40.00
5	Cóncava	Simétrica	40	-6.07%	-0.84%	5.23%	7.65	40.00
6	Cóncava	Simétrica	40	-0.84%	-0.20%	0.64%	62.60	40.00
7	Cóncava	Simétrica	40	-0.20%	3.88%	4.08%	9.81	40.00
8	Convexa	Simétrica	40	3.88%	1.82%	2.06%	19.45	40.00
9	Cóncava	Simétrica	40	1.82%	9.30%	7.48%	5.35	40.00
10	Convexa	Simétrica	40	9.30%	2.27%	7.03%	5.69	40.00
11	Convexa	Simétrica	40	2.27%	-3.85%	6.12%	6.53	40.00
12	Cóncava	Simétrica	40	-3.85%	-0.51%	3.34%	11.97	40.00
13	Cóncava	Simétrica	40	-0.51%	7.05%	7.56%	5.29	40.00
14	Convexa	Simétrica	40	7.05%	-0.52%	7.58%	5.28	40.00
15	No se diseña	-	40	-0.52%	-0.49%	0.03%	-	-
16	Convexa	Simétrica	40	-0.49%	-1.27%	0.78%	51.45	40.00
17	Cóncava	Simétrica	40	-1.27%	0.20%	1.74%	27.22	40.00
18	Cóncava	Simétrica	40	0.20%	3.52%	3.32%	12.03	40.00
19	Convexa	Simétrica	40	3.52%	1.28%	2.24%	17.83	40.00

Fuente: Elaboración Propia

Dónde:

PCV: Principio de curva vertical.

PIV: Punto de inflexión curva vertical.

FCV: fin de curva vertical.

2T: Proyección horizontal de las tangentes a la curva de enlace.

2.5 MOVIMIENTO DE TIERRAS.-

2.5.1 INTRODUCCIÓN.-

Los movimientos de tierra consisten en la cuantificación de los volúmenes tanto en corte como terraplén. En obras de construcción de caminos los procedimientos para medir volúmenes de tierra y terreno a excavar, transportar, colocar en sitio, compactar son similares.

2.5.2 CÁLCULO DE ÁREAS ENTRE SECCIONES.-

El principal método empleado es el analítico, que consiste en el cómputo de las áreas por coordenadas, es decir basados en coordenadas de los puntos que definen el contorno de la superficie usado cuando la sección es bastante irregular, es la base de los métodos computarizados y que es adoptado por AutoCAD Civil 3D 2013.

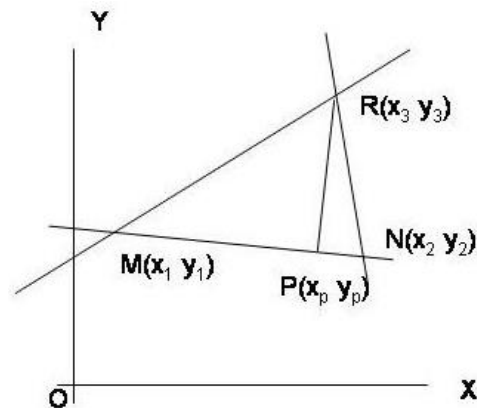


Figura 16: Gráfica del método analítico para el cálculo de áreas

$$\text{Área} = \frac{1}{2} * ((Y1 * X2 + \dots + Yn * X1) - (X1 * Y2 + \dots + Xn * Y1))$$

2.5.3 DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES DEL MOVIMIENTO DE TIERRA.-

El cálculo de volúmenes se obtiene de las áreas, el método más utilizado es el de la semisuma o áreas medias que es adoptada por el programa computarizado.

Método de las áreas Medias:

Casos particulares

$$\text{Volumen "CORTE - CORTE"} \quad V_c = \frac{(A_{c1} + A_{c2}) * L}{2}$$

$$\text{Volumen "RELLENO - RELLENO"} \quad V_r = \frac{(A_{r1} + A_{r2}) * L}{2}$$

$$\text{Volumen "RELLENO - CORTE"} \quad V_c = \frac{A_c^2 * L}{2 * (A_r + A_c)}$$

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

Dónde:

A_r : Área de corte (m^2)

A_c : Área de relleno (m^2)

L : Longitud entre progresivas (m.)

Secciones mixtas

$$\text{Caso "CORTE o RELLENO"} \quad S = \left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right)^2$$

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

$$\text{Caso "MIXTAS"} \quad e = \frac{1}{3} * (\pm x \pm a \pm d)$$

$$\text{Coeficiente de curvatura} \quad C_c = \frac{L}{2 * R} * (A_1 e_1 + A_2 e_2)$$

$$\text{Volumen "CURVA"} \quad V_{\text{curva}} = V_{\text{recta}} \pm C_c$$

Dónde:

dd: Distancia del eje al borde derecho (m).

di: Distancia del eje al borde izquierdo (m).

x: Longitud del eje a la intersección de la calzada con el terreno (m).

a: Longitud del carril (m).

R: Radio de la curva (m).

2.5.4 DIAGRAMA DE MASA.-

El diagrama de masas es una gráfica, en el cual las abscisas representan a las progresivas del camino y las ordenadas a los volúmenes acumulados de las terracerías, es en este diagrama donde se analizan los movimientos de tierra para obtener un resultado satisfactorio.

Tabla 32: Factor de abundamiento

MATERIAL	FACTOR DE ABUNDAMIENTO
Tierra negra	1.00 – 1.25
Material arenoso	1.10 – 1.30
Roca suelta	1.30 – 1.40
Roca fija	1.40 – 1.65

Fuente: Vías de Comunicación de Ing. Carlos Crespo V.

Tabla 33: Factor de reducción

MATERIAL	FACTOR DE REDUCCIÓN
Tierra negra	0.98 – 1.00
Material arenoso	0.75 – 0.90
Roca suelta	0.70 – 0.75
Roca fija	0.60 – 0.70

Fuente: Vías de Comunicación de Ing. Carlos Crespo V.

En el anexo 6 se presenta la planilla de la curva masa, sin embargo a continuación se detalla la gráfica obtenida.

CURVA MASA

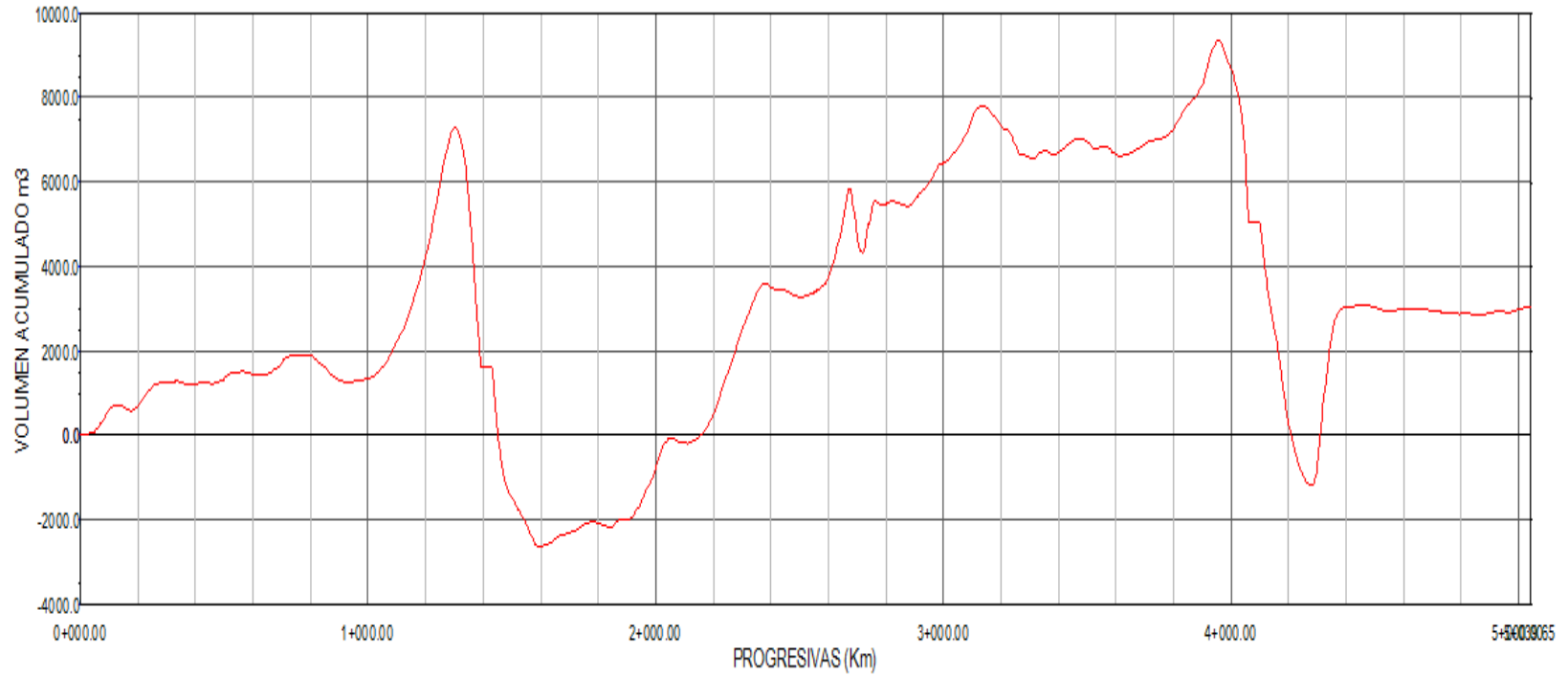


Figura 17: Diagrama de Curva Masa

VOLUMEN ACUMULADO:

Corte (m³): 30,965.90

Relleno (m³): 27,916.50

2.6 DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS DE ARTE.-

2.6.1 CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO.-

El cálculo del caudal de diseño o caudal máximo se calculará mediante el método racional, que servirá para realizar el diseño hidráulico de las estructuras de drenaje.

Coefficiente de escorrentía.- La cantidad de agua que escurre no es igual al que ha precipitado porque parte del agua se infiltra a través del suelo, la proporción de agua precipitada que escurre es conocido como coeficiente de escorrentía “C”

Tabla 34: Coeficiente de escorrentía

Tipo de Terreno	“C”
Pavimentos de Adoquín	0,50 - 0,70
Pavimentos Asfálticos	0,70 - 0,95
Pavimentos en Concreto	0,80 - 0,95
Suelo Arenoso con Vegetación y Pendiente 2% - 7%	0,15 - 0,20
Suelo Arcilloso con Pasto y Pendiente 2% - 7%	0,25 - 0,65
Zonas de Cultivo	0,20 - 0,40

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (ABC)

El área de estudio del proyecto es una zona de cultivo, por tanto se adoptará un coeficiente de escurrimiento de:

$$C = 0.4$$

Método Racional.- Con el valor del coeficiente de escurrimiento (C), intensidades de precipitación (I), y áreas de aporte (A), se procederá al cálculo del caudal máximo mediante el Método Racional.

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

C = Coeficiente de Escorrentía.

i = Intensidad Máxima (mm/hr.)

A = Área de la Cuenca (km²)

Q = Caudal Máximo (m³/s)

2.6.2 CUNETAS.-

Son estructuras localizadas a orillas del camino en las secciones de corte, destinadas a recoger el agua que escurre en la superficie del pavimento, así como la que escurre por los taludes de los cortes. Desaguan en alcantarillas o por medio de canales de salida.

Las condiciones hidráulicas en el dimensionamiento de cunetas serán:

La velocidad mínima aconsejable es de 0.25 m/s para evitar sedimentación, siendo la velocidad máxima admisible de 4.50 m/s, para la cuenta revestida con mampostería de piedra.

Las cunetas se diseñaran de sección transversal triangular porque su erosión es menor y tiene un proceso de construcción más fácil.

2.6.2.1 TALUD INTERIOR DE CUNETAS.-

La inclinación mencionada dependerá, por condiciones de seguridad y Velocidad de Proyecto del camino.

Para velocidad de proyecto ≤ 70 (km/h) según la norma de la A.B.C. (Administradora Boliviana de Carreteras), el talud interior para la cuneta será 1:2 (V: H).

2.6.2.2 DETERMINACIÓN DE LA SECCIÓN HIDRÁULICA.-

Para dimensionar la cuneta se realizó la comprobación del tirante y la velocidad crítica mediante el programa Hcanales 3.0.

Fórmula de manning:

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

Dónde:

Q = Caudal, método racional (m/s).

A = Área (m²).

S = Pendiente (m/m)

P = Perímetro (m)

n = Coeficiente de rugosidad, adimensional

El dimensionamiento de la cuneta será de:

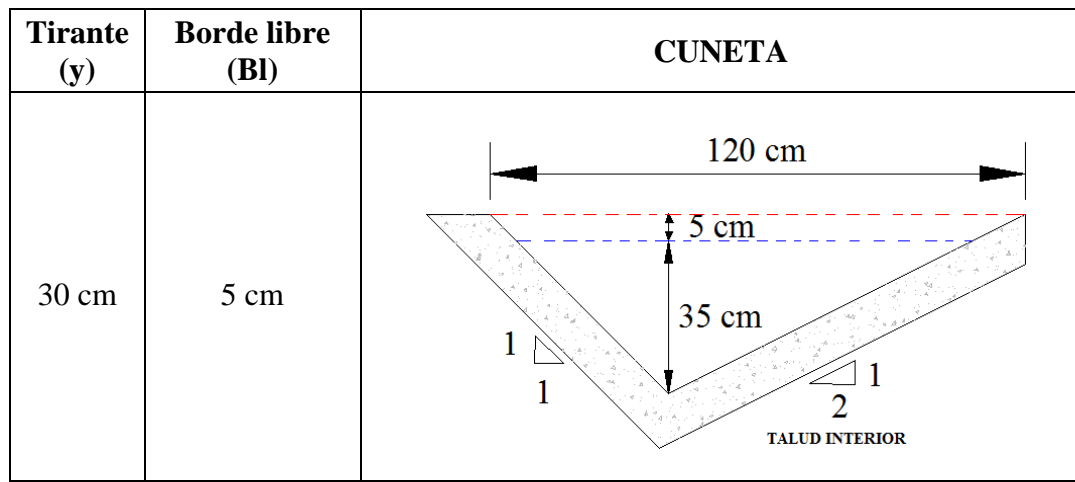


Figura 18: Cuneta

El cálculo hidráulico para el dimensionamiento de la cuneta se aprecia en Anexo 7.

2.6.3 ALCANTARILLAS DE ALIVIO.-

Son estructuras destinadas a recibir el agua de las cunetas, su diámetro para caminos de desarrollo deberá ser 1 m, como mínimo.

Cuando un camino cuenta con cunetas muy largas debido a que va bordeando una loma o ladera, por ejemplo es muy conveniente aliviar la cuneta por lo menos cada 100 m., mediante el empleo de una alcantarilla.

Para el diseño hidráulico se determinó los siguientes aspectos: Material de la alcantarilla de alivio, pendiente longitudinal, tirante igual al 60% del diámetro y una velocidad máxima de 5 m/s.

Finalmente el diámetro de las alcantarillas de alivio fue determinado mediante la ecuación de Manning:

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

Dónde:

Q = (m/s), caudal.

S = (m/m), Pendiente: No menor a 0.5% para evitar sedimentación y 5% como máximo.

n = Rugosidad, 0.024 para metal corrugado.

Debido a que el tubo trabaja al 0,60 del diámetro ($y = 0,6 d$):

$$A = \frac{d^2}{8} (\theta_R - \text{Sen } \theta)$$

$$R = \frac{d}{4} \left(\frac{\theta_R - \text{Sen } \theta}{\theta_R} \right)$$

$$\theta = 2 \text{ Cos}^{-1} \left(1 - \frac{2y}{d} \right)$$

$$\theta_R = \frac{\theta \pi}{180}$$

2.6.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA ALCANTARILLA DE ALIVIO.-

Para dimensionar el diámetro de las alcantarillas se itero con el programa HCANALES 3.0, basada con la fórmula de manning.

Tabla 35: Resumen de Alcantarillas de Alivio

N°	Progresiva	Q (m ³ /s)	Pendiente S (m/m)	Rugosidad n	Diámetro (m)	Tirante y(m)	Vel. v(m/s)	condición y/d ≤ 0.6
1	1+120	0.223	0.020	0.024	0.60	0.29	1.64	0.5
2	1+220	0.141	0.020	0.024	0.50	0.25	1.46	0.5
3	1+330	0.100	0.020	0.024	0.50	0.20	1.34	0.4
4	2+220	0.303	0.020	0.024	0.60	0.35	1.77	0.6
5	2+320	0.205	0.020	0.024	0.60	0.28	1.61	0.5
6	2+680	0.289	0.020	0.024	0.60	0.34	0.75	0.6
7	3+040	0.187	0.020	0.024	0.50	0.29	1.57	0.6
8	3+140	0.161	0.020	0.024	0.50	0.27	1.51	0.5
9	3+880	0.175	0.020	0.024	0.50	0.28	1.54	0.6
10	4+380	0.320	0.020	0.024	0.60	0.36	1.79	0.6

N°	Progresiva	Diámetro (m)	
		calculado	Asumido
1	1+120	0.60	1.00
2	1+220	0.50	1.00
3	1+330	0.50	1.00
4	2+220	0.60	1.00
5	2+320	0.60	1.00
6	2+680	0.60	1.00
7	30+40	0.50	1.00
8	3+140	0.50	1.00
9	3+880	0.50	1.00
10	4+380	0.60	1.00

Fuente: Elaboración propia

El diámetro comercial para las alcantarillas será de 1m.

2.6.4 ALCANTARILLAS DE CRUCE.-

Son obras de cruce o de drenaje transversal que en algunos subtramos sirven de alivio para que las cunetas evacuen sus aguas. El criterio de diseño es el mismo que las alcantarillas de alivio.

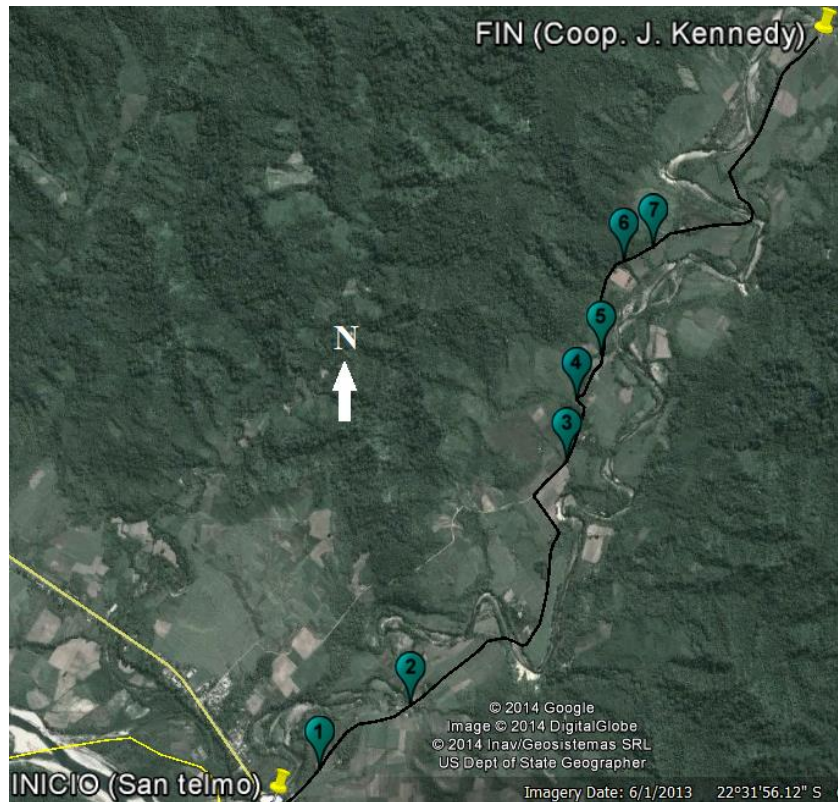


Figura 19: Localización de las alcantarillas de cruce en el camino

2.6.4.1 DIMENSIONAMIENTO DE LAS ALCANTARILLAS.-

Para el diseño hidráulico se determinó los siguientes aspectos: material de las alcantarillas de alivio, pendiente longitudinal de la alcantarilla de cruce y tirante al 60% del diámetro.

PROGRAMA HCANALES: Donde utiliza la Ecuación de manning:

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

DATOS DE ENTRADA:Caudal = 4.35 m³/s

Diámetro= 1.40 m.


Rugosidad = 0.024 (Metal corrugado)

Pendiente = 0.05 m/m

Lugar:	SAN TELMO R. BERMEJO	Proyecto:	Diseno final de Ingenieria
Tramo:	San Telmo-Coop. J. Kennedy	Revestimiento:	Metal corrugado

Datos:

Caudal (Q):	4.35	m ³ /s
Diámetro (d):	1.40	m
Rugosidad (n):	0.024	
Pendiente (S):	0.05	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	0.7903	m	Perímetro mojado (p):	2.3802	m
Area hidráulica (A):	0.8957	m ²	Radio hidráulico (R):	0.3763	m
Espejo de agua (T):	1.3883	m	Velocidad (v):	4.8564	m/s
Número de Froude (F):	1.9304		Energía específica (E):	1.9924	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico				

Tabla 36: Resumen de Alcantarillas de Cruce

Nº	Progresiva	Caudal Q (m ³ /s)	Pendiente S (m/m)	Diámetro		Tirante y (m)	Vel. v (m/s)	condición y/d ≤ 0.6
				(m)	Comercial (m)			
1	0 + 241	4.350	0.05	1.40	1.50	0.79	4.85	0.6
2	0 + 797	6.870	0.05	1.50	1.50	1.05	5.00	0.6
3	2 + 390	2.420	0.05	1.10	1.20	0.64	4.19	0.6
4	2 + 711	8.171	0.03	1.90	2 de 1.00	1.12	4.69	0.6
5	2 + 967	6.187	0.05	1.50	1.50	0.94	5.00	0.6
6	3 + 446	5.916	0.05	1.50	1.50	0.94	5.00	0.6
7	3 + 553	5.230	0.03	1.50	1.50	1.00	4.16	0.6

Fuente: Elaboración propia

El diseño de las alcantarillas de cruce a detalle se puede apreciar en Anexo 7.

2.7 DISEÑO DEL PAVIMENTO.-

2.7.1 INTRODUCCIÓN.-

En esta memoria se presenta el diseño del pavimento para el camino “San Telmo Río Bermejo - Coop. J Kennedy“.

El paquete estructural del camino está diseñado de acuerdo a las recomendaciones de la norma AASHTO-93.

2.7.2 FACTORES DE DISEÑO.-

Los factores más importantes para el diseño de las capas de un pavimento son:

El tráfico, propiedades de la subrasante, materiales de construcción y condiciones climáticas.

2.7.3 METODOLOGÍA.-

Por las características de los materiales de la subrasante existentes en el proyecto, el diseño fue realizado en un solo tramo dentro del camino San Telmo Río Bermejo – Coop. J. Kennedy.

Para el tipo de pavimento a elegir se consideraron 2 alternativas:

I. Pavimento flexible

Consiste en el uso de una capa de rodadura de carpeta asfáltica con una vida útil de 15 años.

II. Tratamiento Superficial Doble (T.S.D)

Consiste en el uso de un Tratamiento Superficial Doble con una vida útil de 6 años.

El caso particular de los tratamientos superficiales únicamente es factible para tráfico menor a los 50,000 ejes equivalentes, por tanto no es conveniente diseñar esta alternativa para tráficos elevados o periodos de vida superiores a los 5 a 6 años, puesto que por sus propias características es muy difícil que supere es periodo de vida útil.

2.7.4 DISEÑO DE PAVIMENTO SEGÚN MÉTODO AASHTO VERSIÓN 1993.-

A continuación se describe con detalle los procedimientos seguidos por el método de la AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles de carreteras. Este método establece que la superficie de rodamiento se resuelve con concreto asfáltica.

El diseño está basado primordialmente en identificar un “Número estructural SN” y en función del mismo, se determinan los distintos espesores de capas que forman el paquete estructural. Para determinar el número estructural SN requerido, el método proporciona la ecuación general de diseño de pavimentos flexibles.

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log M_R - 8,07$$

Involucrando las siguientes variables:

- El tránsito en ejes equivalentes acumulados para el período de diseño seleccionado, “W18”.
- El parámetro de confiabilidad, “R”.
- La desviación estándar global, “So”.
- El módulo de resiliencia efectivo, “Mr” del material usado para la subrasante.
- La pérdida o diferencia entre los índices de servicios inicial y final deseados, “ΔPSI”.

La ecuación puede ser resuelta en forma manual, lo cual es muy tedioso. Por esta razón se utilizó el programa computarizado “DIPAV-IBCH 2.0”, sin embargo con la finalidad de entender los principios y fundamentos del método ASSHTO, se explica a detalle la metodología que es utilizada para la obtención de espesores a través de este método, que a la vez son base del funcionamiento del programa computarizado.

A continuación se describirá cada una de las variables que forman parte de esta ecuación de diseño.

2.7.4.1 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO.-

a) Confiabilidad “R”.-

Con el parámetro de Confiabilidad “R”, se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que la sección estructural que se obtenga, durará como mínimo el período de diseño.

El actual método AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles, recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 para el parámetro “R” de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales, notándose que los niveles más altos corresponden a obras que estarán sujetas a un uso intensivo, mientras que los niveles más bajos corresponden a caminos.

El cuadro permite obtener los niveles adecuados de Confiabilidad (R) para diferentes tipos de vías, clasificadas por la AASHTO, según su grado de servicio.

Tabla 37: Niveles Recomendados de Confiabilidad (R)

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
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Manual AASHTO-93

Para el presente proyecto se ha adoptado $R = 80\%$

b) Desviación estándar de las variables “So”.-

La desviación estándar S_o , toma en cuenta la variabilidad asociada con el diseño, construcción y comportamiento del pavimento.

En la tabla 38, se dan los valores para pavimentos flexibles.

Tabla 38: Valores recomendados para la Desviación Estándar (So)

Condición de diseño	Desvío Estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34 pav. Rígidos 0.44 pav. Flexibles
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39 pav. Rígidos 0.49 pav. Flexibles

Fuente: Manual AASHTO-93

Para el presente proyecto se ha adoptado un valor de $S_o = 0.49$

c) Pérdida de serviciabilidad de diseño “ ΔPSI ”.-

La serviciabilidad es la capacidad de un pavimento para servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño de pavimentos se deben elegir la serviciabilidad inicial y final, las que están indicadas a continuación:

Serviciabilidad Inicial

$$P_o = 4,2 \text{ para Pavimentos Flexibles}$$

Serviciabilidad terminal:

$$P_t = 2,0 \text{ para caminos de menor tránsito}$$

Una vez que P_o y P_t son establecidos, la pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño ΔPSI se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Por tanto la perdida de serviciabilidad prevista estimada es $\Delta PSI = 2.2$

d) Estimación de ejes equivalentes (ESALs).-

El procedimiento de diseño para caminos con volúmenes de tráfico bajos está basado en los ESAL's acumulados esperados durante el período de diseño, donde el ESAL (Equivalent Simple Axial Load) es la conversión de las cargas, a un número de

repeticiones de cargas equivalente de un eje simple de ruedas duales de carga estándar de 18,000 lb.

El programa de DIPAV 2.1, proporciona una hoja electrónica muy útil para calcular el número acumulado de ESALs a partir de datos de tráfico, configuración y tipo de eje.

En anexo 3, se detalla la obtención de ejes equivalentes, sin embargo a continuación se presenta el resumen los resultados obtenidos.

Número total de ejes equivalentes Alternativa Carpeta Asfáltica: 154,122

Número total de ejes equivalentes Alternativa T.S.D: 22,415

e) Módulo Resiliente de la Subrasante.-

La base para la caracterización de los materiales de subrasante en este método, es el módulo resiliente. Este módulo se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de ensayos del CBR.

$$M_R \text{ (MPa)} = 17.6 * \text{CBR}^{0.64} \text{ (CBR} < 12 \text{)}$$

Con el estudio de suelos y las características similares de los suelos existentes a lo largo del trazo del camino se definió un tramo adquiriendo así a través de procedimiento estadísticos los CBR's de diseño. El valor obtenido es de:

CBR's de diseño = 10.3%, al 95% de la densidad máxima.

El cálculo del CBR de diseño se puede apreciar en el Anexo 8.

A partir de este valor y con las fórmula que mejor se ajusta a los materiales que representan el terreno natural y que correlaciona el módulo resiliente y CBR de diseño, se ha obtenido el módulo resiliente de la capa subrasante.

Tabla 39: Valor de resistencia asignado (MPa)

SUBRASANTE	MÓDULO RESILENTE OBTENIDO (MPa)
Subrasante (CBR diseño = 10.3%)	78.294

Fuente: Elaboración Propia

2.7.4.2 DETERMINACIÓN DE ESPESORES POR CAPAS.-

Una vez que se ha obtenido el Número Estructural SN para la sección estructural del pavimento, utilizando la ecuación general básica de diseño, (Figura 28) donde se involucraron los parámetros anteriormente descritos (tránsito, R, So, MR, ΔPSI), se requiere ahora determinar una sección multicapa que en conjunto provea de suficiente capacidad de soporte equivalente al número estructural de diseño original. La siguiente ecuación puede utilizarse para adquirir los espesores de cada capa, para la superficie de rodamiento o carpeta, base y sub-base, haciéndose notar que el actual método de AASHTO, ya involucra coeficientes de drenaje particulares para la base y subbase.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Dónde:

SN= Número estructural requerido

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

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

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

Para la obtención de los coeficientes de capa a_1 , a_2 y a_3 deberán utilizarse las Figuras 20 a 22.

2.7.4.2.1 COEFICIENTES ESTRUCTURALES O DE CAPA.-

Estos coeficientes son una medida de la capacidad relativa de cada capa como componente estructural de un pavimento, aunque directamente no sean un índice de la resistencia del material. No obstante a ello, estos coeficientes están correlacionados con distintos parámetros resistentes.

a) Coeficiente Estructural para la Capa de Rodadura “ a_1 ”.-

La figura 20, proporciona un gráfico para estimar el coeficiente estructural para capas asfálticas, donde estos coeficientes “ a_1 ” están en función del módulo resiliente adoptado.

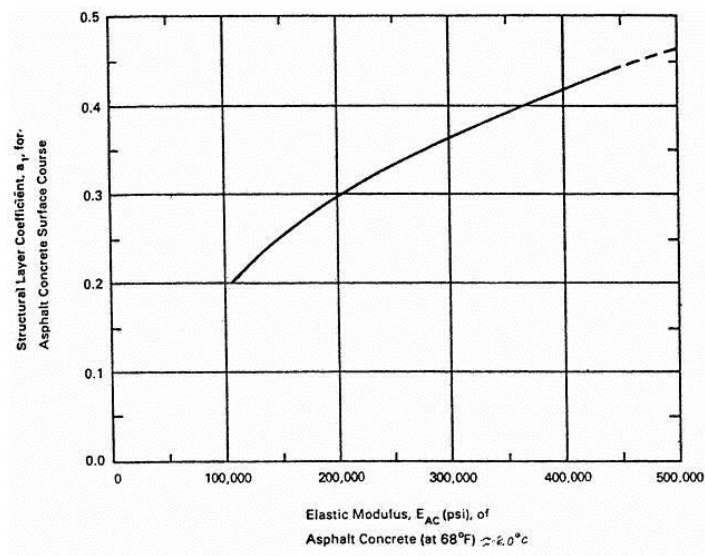


Figura 20: Gráfico para determinar el coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente adoptado

Para un módulo resiliente adoptado de 400,000.0 psi (2,760,000 kpa), se obtiene un coeficiente estructural para la Carpeta Asfáltica de:

$$a_1 = 0.42$$

Para el caso de la alternativa de tratamiento superficial doble el coeficiente estructural de la capa tiene un valor $a_1=0$, ya que el tratamiento superficial no proporciona aporte estructural.

b) Coeficiente Estructural para la Capa Base “a₂”.-

En las figura 21, se muestra el ábaco para determinar el coeficiente estructural “a₂” para bases granulares. Este coeficiente está en función del CBR.

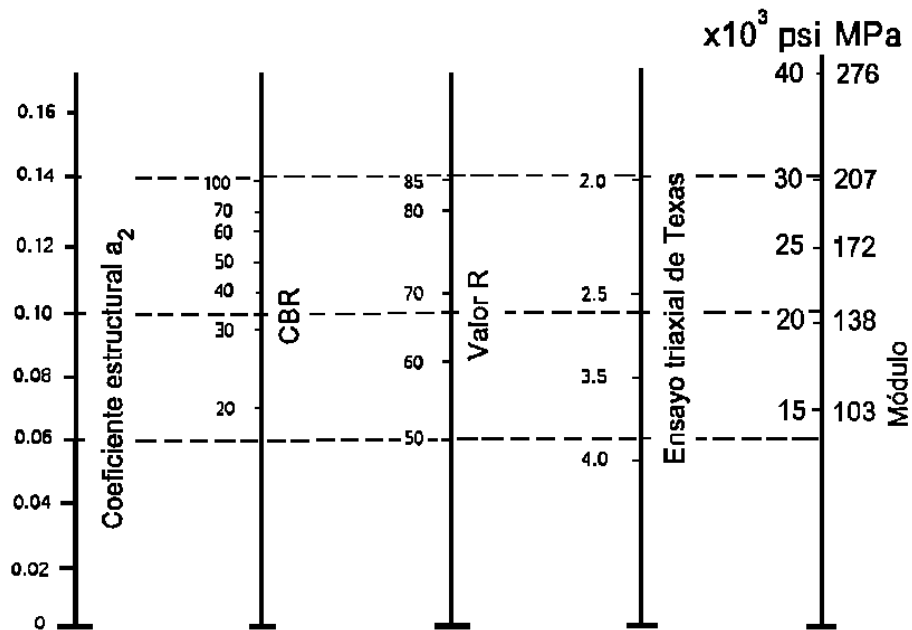


Figura 21: Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes

De esta manera para un CBR igual a 80% adoptado de las exigencias mínimas de las especificaciones técnicas, se tiene el coeficiente estructural para la capa Base Granular:

$$a_2 = 0.133$$

c) Coeficiente Estructural para la Capa Subbase “a₃”.-

Para la estimación del coeficiente de capa “a₃” para subbase granular se utiliza el ábaco de la figura 22, que relaciona el CBR con este coeficiente.

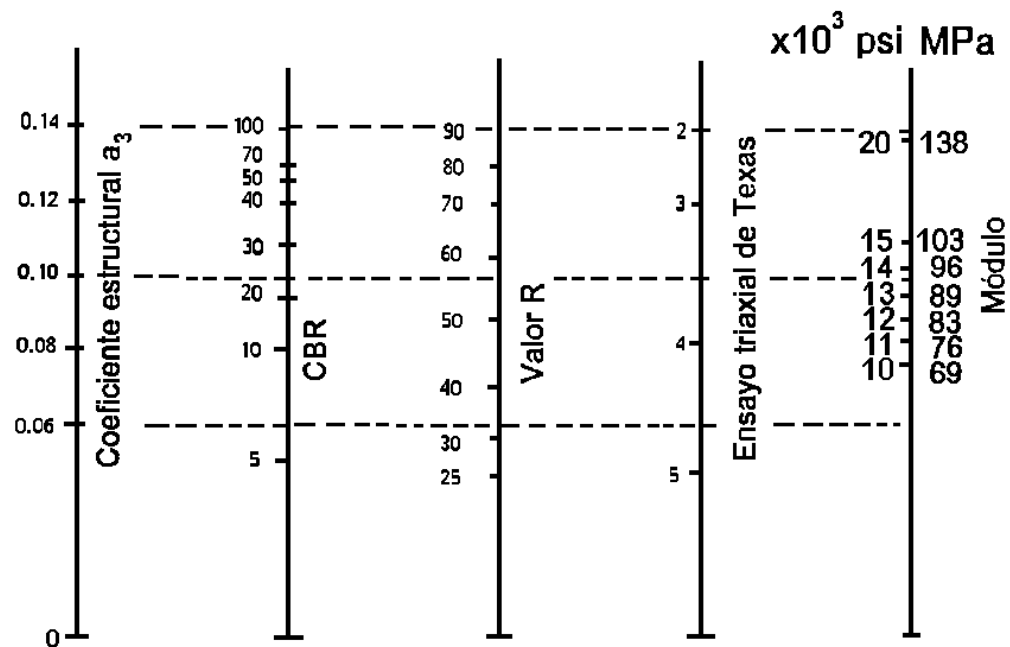


Figura 22: Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes

De esta manera para un CBR igual a 40% adoptado de las exigencias mínimas de las especificaciones técnicas, se tiene el siguiente coeficiente estructural para la capa Sub-base Granular:

$$a_3 = 0.12$$

d) Coeficientes de drenaje “ m_i ”.-

Los coeficientes de drenaje que afectan a las capas no ligadas, tienen por objeto tomar en cuenta los efectos de distintos niveles de eficiencia de drenaje en el comportamiento de la estructura.

Es sabido que un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante (el módulo resiliente aumenta cuando baja el contenido de humedad), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas.

Esta calidad se expresa en la fórmula de dimensionado (Numero estructural) a través de unos coeficientes de drenaje m_i que afectan a las capas no ligadas (Tabla 40)

Tabla 40: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles

CALIDAD DE DRENAJE	% de Tiempo que el pavimento está expuesto a Niveles de Humedad Próximos a la Saturación			
	< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Bueno	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Pobre	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Muy Pobre	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Fuente: Manual Aashto-93

Los valores adoptados de los coeficientes de drenaje considerando una calidad del drenaje regular y del 5% al 25% del tiempo del año expuesto a niveles de humedad, son los siguientes:

- Base Granular $m_2=1.00$
- Sub-base Granular $m_3=0.80$

2.7.4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.-

Como se indicó párrafos arriba, para el presente proyecto en el diseño del pavimento se utilizó el programa computarizado DIPAV-IBCH 2.0

En término simples DIPAV es una versión computarizada de los modelos de diseño de pavimentos basada en la metodología de diseño AASHTO.

En anexo 9 se presenta el detalle de los cálculos, sin embargo a continuación se detalla los resultados obtenidos:

Tabla 41: Espesores determinados

ALTERNATIVAS			
ALTERNATIVA I (cm)		ALTERNATIVA II (cm)	
Carpeta Asfáltica:	5,0	Tratamiento Superficial Doble:	2,5
Capa Base:	10,0	Capa Base:	15,0
Capa Subbase:	17,0	Capa Subbase:	18,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular

Número de ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 – 150,000	5.0 cm	10 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 – 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: Manual AASHTO-93

2.7.5 MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE.-

La capa de subrasante mejorada puede ser una modificación de la subrasante existente (sustitución del material inadecuado).

La función principal de esta capa mejorada será dar resistencia a la estructura del pavimento.

El espesor de una capa de subrasante mejorada no debe ser menor del espesor determinado mediante el método que a continuación se describe:

- Tal como se indicó el Número Estructural (SN), según AASHTO está dado por la siguiente ecuación:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

-Se añade a la ecuación SN la capa de subrasante mejorada, expresada en términos de $a_4 \times D_4 \times m_4$, donde:

a4: Coeficiente estructural de la capa de subrasante mejorada, se recomiendan: 0.024, para reemplazar la subrasante pobre, por una subrasante regular con CBR 6 - 10%.

D4: Espesor de la capa de subrasante mejorada (cm).

De progresiva 1+750 a 2+250, 2+750 a 3+250 y 4+750 a 5+040.

m4: Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 4. Su valor será 1.

Nueva ecuación: $SNr = SN3 + a4 * D4 * m4$

-Con los valores determinados a4 y m4, se puede calcular el espesor efectivo

D4 de la subrasante mejorada, con la siguiente expresión:

$$D4 = (SNr - SN3) / (a4 * m4)$$

$$D4 = \frac{2.56 - 2.01}{0.024 * 1} = 22.92 \text{ cm.} \approx 23 \text{ cm.}$$

SN3 = 2.01. Número estructural del pavimento con subrasante pobre.

SNr = Número estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena, según se requiera mejorar.

Mr = 1,500*CBR = 1,500*4.03 = 6,045 psi. (Para suelos finos con CBR < 10%)

CBR % = 4.03, el más desfavorable.

Aplicando el software del DIPAV.

The screenshot shows the DIPAV software interface with the following parameters and values:

Alternativa de pavimento	Flexible	Módulo	ESALs	Diseño de Espesor de Capas	Gráfico
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2				
Serviciabilidad Final (Pt)	2				
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi)	41,678.81		KPa	<===	6,045 psi
Confiabilidad (R)(%)	80				
Desviación Estándar (So)	0.49				
Número de Ejes Equivalentes ESALs	154,122				Calcular ESALs
Número de Etapas de Construcción	1				
Número Estructural (mm) - (pulg)	65		2.56		
<input checked="" type="radio"/> SN	Calcular				

SNr=2.56

ALTERNATIVA I
PAVIMENTO CON CARPETA ASFÁLTICA

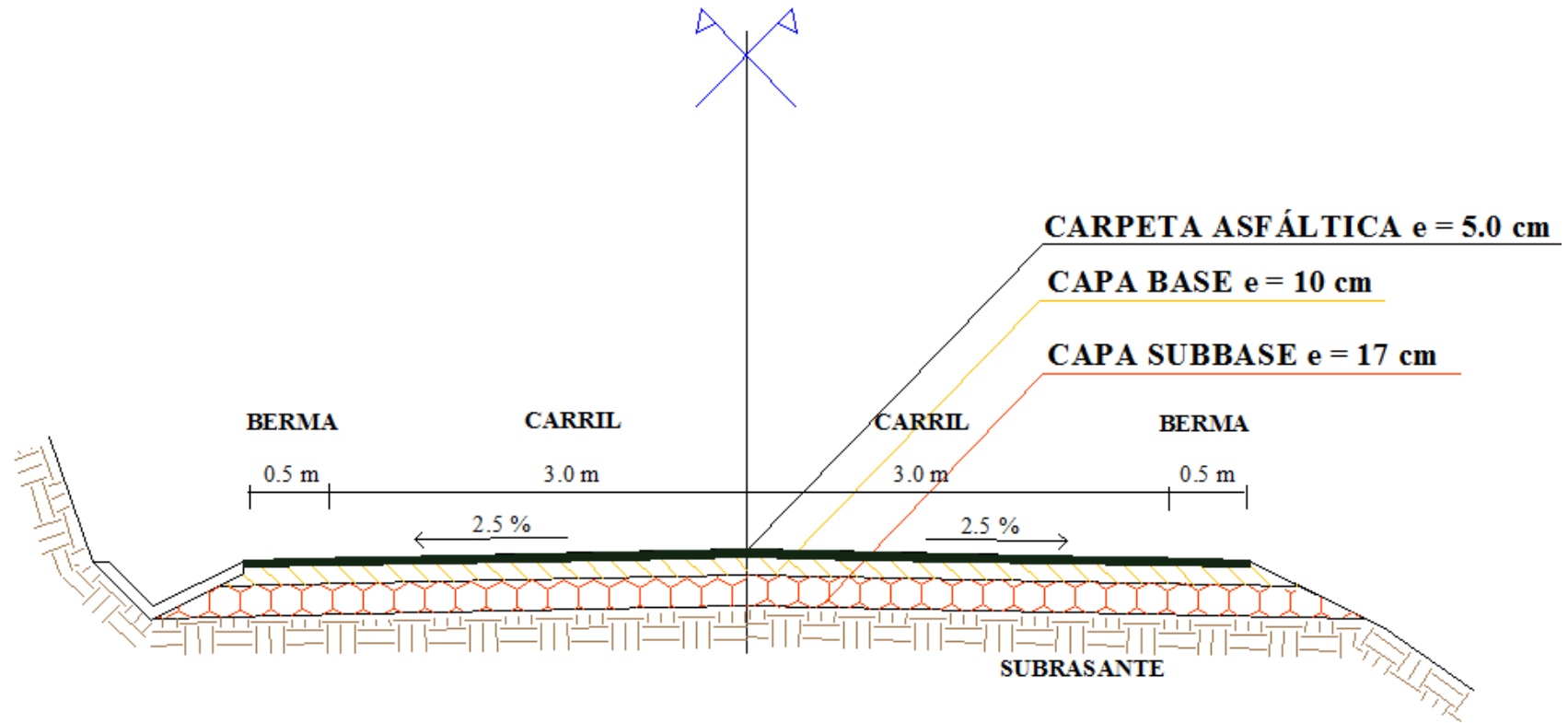


Figura 23: Dimensionamiento del pavimento flexible

ALTERNATIVA II
PAVIMENTO CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE

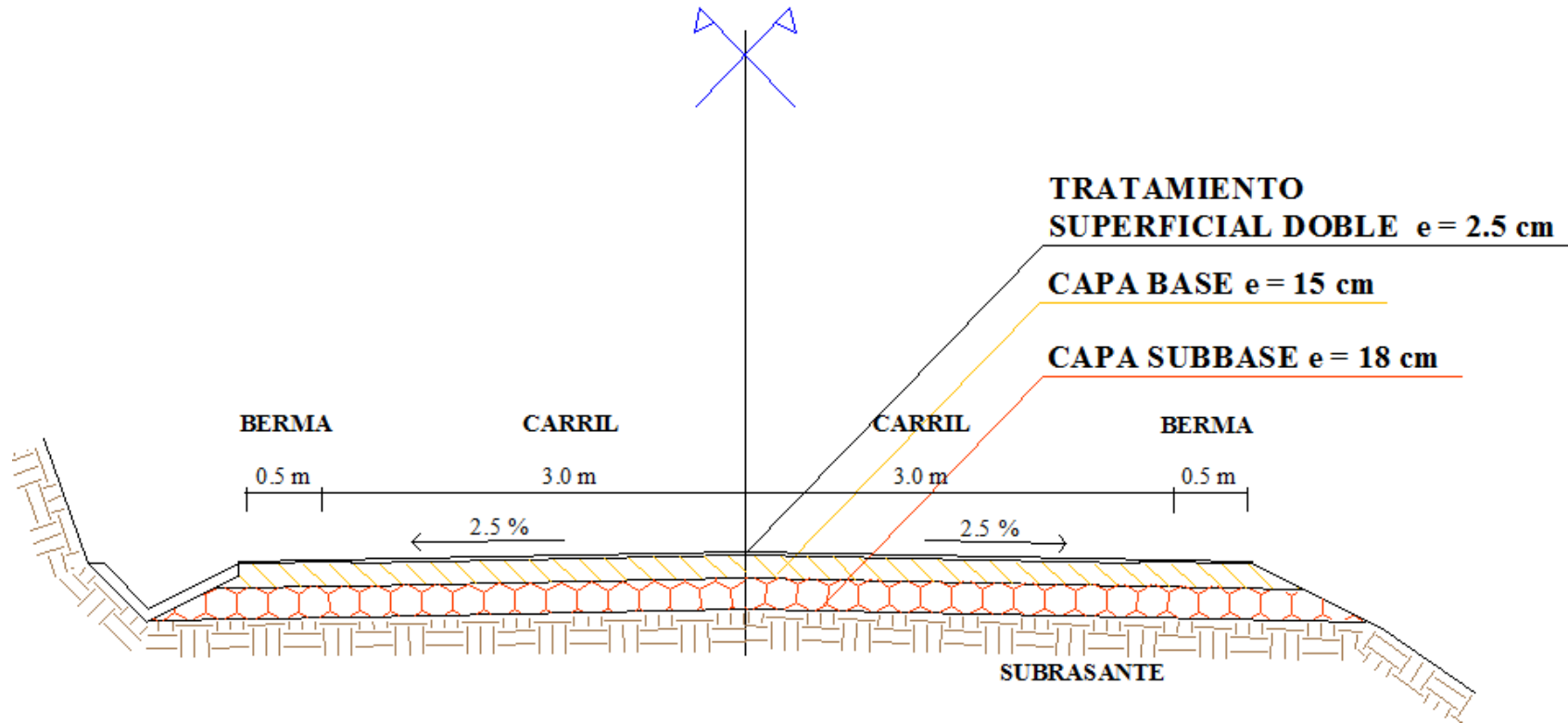
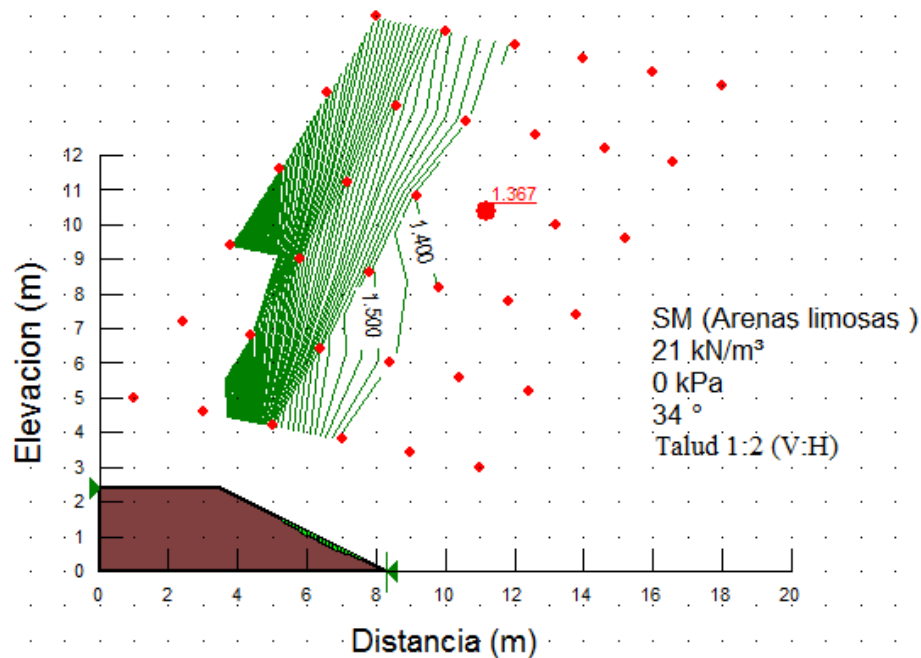


Figura 24: Dimensionamiento del Tratamiento Superficial Doble

2.8 DISEÑO COMPLEMENTARIO.-

2.8.1 ESTABILIDAD DE TALUDES.-

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES TALUD DE TERRAPLEN (PROGRAMA GEO SLOPE 2007)



Se aconseja el factor de seguridad mínimos para la estabilidad de terraplén:

$$FS = 1.3$$

Factor de seguridad: 1.37 Mayor que 1.3 Cumple!

Datos para el uso del programa:

El suelo a emplear en el terraplén producido por el corte en la subrasante, tiene como clasificación a un suelo SM (Arenas limosas), no plástico.

Peso unitario: Arena limosa densa 21 KN/m³

Tabla 43: Valoración Suelos Sucs

Principales divisiones 1	Letra 2	Nombre 3	Valor como terreno de apoyo 4	Valor como subbase 5	Valor como base 6	Acción potencial de la helada 7	Compresibilidad y expansión 8	Características de drenaje 9	Equipo de compactación 10	Peso unitario en seco en Tm/m ³ 11		
Suelos de grano grueso	Gravas y suelos con grava	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino	Excelente	Excelente	Bueno	Ninguna a muy ligera	Casi ninguna	Excelente	Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos, rodillo con ruedas de acero	2,00-2,24	
		GP	Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino	Bueno a excelente	Bueno	Regular a bueno	Ninguna a muy ligera	Casi ninguna	Excelente	Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos, rodillo con ruedas de acero	1,76-2,24	
		G M u	d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	Bueno a excelente	Bueno	Regular a bueno	Ligera a media	Muy ligera	Pobre a mediano	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	2,00-2,32
					Bueno	Mediano	Pobre a no conveniente	Ligera a media	Ligera	Pobre a prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,84-2,16
	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	Bueno	Mediano	Pobre a no conveniente	Ligera a media	Ligera	Pobre a prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	2,08-2,32		
	Arenas y suelos arenosos	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino	Bueno	Mediano a bueno	Pobre	Ninguna a muy ligera	Casi ninguna	Excelente	Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos	1,76-2,08	
		SP	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino	Mediano a bueno	Mediano	Pobre a no conveniente	Ninguna a muy ligera	Casi ninguna	Excelente	Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos	1,68-2,16	
		S M u	d	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Mediano a bueno	Mediano a bueno	Pobre	Ligera a alta	Muy ligera	Pobre a mediano	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,92-2,16
					Mediano	Pobre a mediano	No conveniente	Ligera a alta	Ligera a media	Pobre a prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,60-2,08
		SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla	Pobre a mediano	Pobre	No conveniente	Ligera a alta	Ligera a media	Pobre a prácticamente impermeable	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,60-2,16	
ML	Limos inorgánicos	Pobre a mediano	No conveniente	No conveniente	Media a muy alta	Ligera a media	Pobre a mediano	Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra	1,44-2,08			

Fuente: AASHTO

Cohesión: Suelo NP (no plástico), no tiene cohesión.

El ángulo de rozamiento interno: 34° en función al tipo de suelo, ver tabla siguiente.

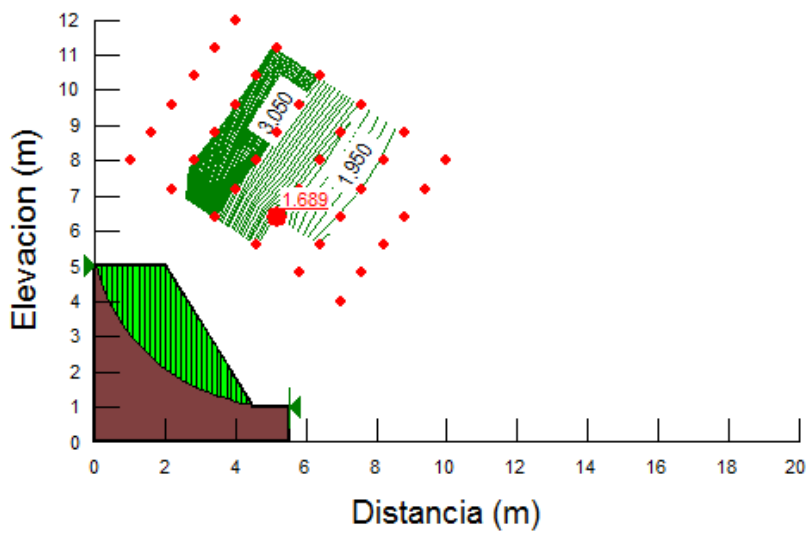
Tabla 44: Propiedades De Suelos

Group symbol	Modified AASHO compaction§	Standard Proctor compaction		Standard Proctor compaction		Typical design values							
		Optimum moisture content %	max. dry density $kN m^{-3}$	Optimum moisture content %	Void ratio e at optimum compaction	Compressibility % Reduction of initial volume		Shearing strength			ϕ (Effective stress envelope) degrees	CBR	Subgrade modulus $kN m^{-2}$
						at $137.9 kNm^{-2}$	at $344.75 kNm^{-2}$	c_u $kN m^{-2}$	c_{sat} $kN m^{-2}$	Tan ϕ			
GW	11-8	>19.0	<13.3	ID	ID	<1.4	ID	ID	ID	>0.75	>38	40-80	80-135
GP	14-11	>17.6	<12.4	ID	ID	<0.8	ID	ID	ID	>0.74	>37	30-60	30-135
GM	12-8	>18.2	<14.5	ID	ID	<1.2	<3.0	ID	ID	>0.67	>34	20-60	55-135
GC	14-9	>18.4	<14.7	ID	ID	<1.2	<2.4	ID	ID	>0.60	>31	20-40	55-135
SW	16-9	2.0 ± 0.8	13.3 ± 2.5	$0.37 \pm ID$	$1.4 \pm ID$	ID	ID	39 ± 4	ID	0.79 ± 0.02	~38	20-40	55-110
SP	21-12	7.6 ± 0.3	12.4 ± 1.0	0.50 ± 0.03	0.8 ± 0.3	ID	ID	23 ± 4	ID	0.74 ± 0.02	~38	10-40	40-110
SM	16-11	8.2 ± 0.15	14.5 ± 0.4	0.48 ± 0.02	1.2 ± 0.1	3.0 ± 0.4	51 ± 6	20 ± 7	0.67 ± 0.02	~34	10-40	25-110	
SC	10-11	4.4 ± 0.15	14.7 ± 0.4	0.48 ± 0.01	1.2 ± 0.2	2.4 ± 0.5	75 ± 15	11 ± 6	0.60 ± 0.07	~31	5-20	25-80	
ML	24-12	5.0 ± 0.15	19.2 ± 0.7	0.63 ± 0.02	1.5 ± 0.2	2.6 ± 0.3	67 ± 19	$9 \pm ID$	0.62 ± 0.04	~32	15 or less		
CL	24-12	7.4 ± 0.15	17.2 ± 0.3	0.56 ± 0.01	1.4 ± 0.2	2.6 ± 0.4	87 ± 10	13 ± 2	0.54 ± 0.04	28	15 or less	15-40	
OL	33-21	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	--	5 or less	15-25	
MH	40-20	3.2 ± 0.55	36.3 ± 3.2	1.15 ± 0.12	2.0 ± 1.2	3.4 ± 0.8	72 ± 30	20 ± 9	0.47 ± 0.05	~25	10 or less	15-25	
CH	36-19	5.0 ± 0.3	25.5 ± 1.2	0.80 ± 0.04	2.6 ± 1.3	3.9 ± 1.5	103 ± 34	11 ± 6	0.35 ± 0.09	~19	15 or less	15-40	
OH	45-21	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	ID	--	5 or less	5-25	
Pt	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	

Fuente: United States Army Corps of Engineers (1953)

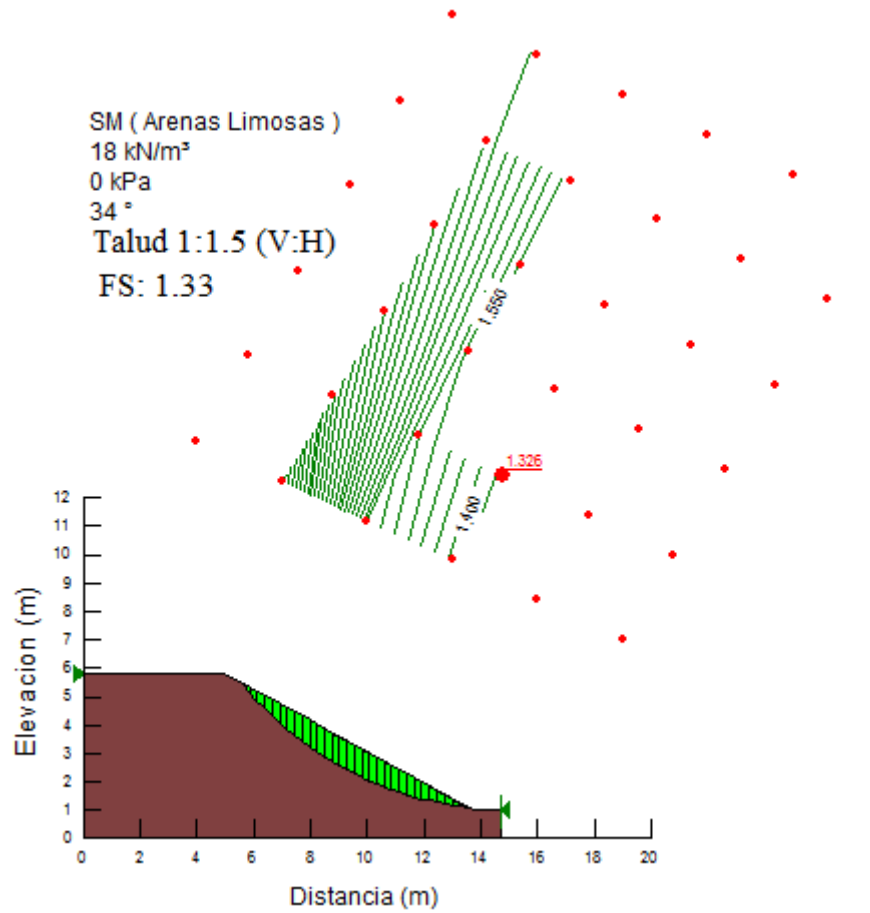
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES
TALUD DE CORTE
(PROGRAMA GEO SLOPE 2007)

ML (Limos Inorganicos y arenas muy finas limosas o arcillosas, con baja plasticidad)
17.67 kN/m³
10 kPa
32 °
Talud 1:1/2 (V:H)



Kilómetro 3+100 Lado Izquierdo y Derecho
Kilómetro 2+000 Lado Izquierdo y derecho
Factor de seguridad: 1.69 Mayor que 1.15 Cumple!

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES
TALUD DE CORTE
(PROGRAMA GEO SLOPE 2007)



Kilómetro 4+325 Lado Izquierdo y Derecho

Factor de seguridad: 1.33 Mayor que 1.15 Cumple!

CAPÍTULO III: CÓMPUTO MÉTRICO Y PRESUPUESTO

3.1 CÓMPUTOS MÉTRICOS.-

Los cálculos métricos están basados en la cuantificación de longitudes superficiales y volúmenes de las diferentes partes de la obra a través de fórmulas geométricas que están reflejados en diferentes ítems.

Tabla 1: Planilla de cálculos métricos

CÓMPUTOS MÉTRICOS									
PROYECTO: DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA " SAN TELMO RÍO BERMEJO - COOP. J. KENNEDY "									
N°	DESCRIPCIÓN	Unidad	Dimensiones			Parcial	Partes Iguales	Total	Obs.
			Largo	Ancho	Altura				
TRABAJOS PREVIOS									
1	INSTALACIÓN DE FAENAS	GLB	1.00			1.00	1.00	1.00	Total
2	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN	GLB	1.00			1.00	1.00	1.00	Total
3	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRÁFICO	KM	5.04			5.04	1.00	5.04	Total
MOVIMIENTO DE TIERRAS									
4	EXCAVACIÓN TERRENO BLANDO C/EQUIPO	M3				30965.90	1.00	30,965.90	Total
5	CONFORMACIÓN Y COMPACTADO DE TERRAPLÉN	M3				27916.50	1.00	27,916.50	Total
PAVIMENTO									
6	CONFORMACIÓN DE CAPA SUBBASE	M3	5039.65	7.00	0.17	5997.184	1.00	5,997.18	Total
7	CONFORMACIÓN DE CAPA BASE	M3	5039.65	7.00	0.10	3527.76	1.00	3,527.76	Total
8	IMPRIMACIÓN BITUMINOSA	M2	5039.65	7.00		35277.55	1.00	35,277.55	Total
9	CARPETA ASFÁLTICA	M3	5039.65	7.00	0.05	1763.878	1.00	1,763.88	Total

OBRAS DE ARTE MENOR									
10	TRAZADO Y REPLANTEO DE OBRAS DE ARTE	PZA							
	Alcantarillas de alivio	PZA				1.00	10.00	6.00	
	Alcantarillas de paso	PZA				1.00	7.00	7.00	
								13.00	Total
11	EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA P/OBRAS DE DRENAJE MENOR	M3				382.90	1.00	382.90	Total
12	CAMA DE ARENA SELECCIONADA	M3	7.48	1.00	0.15	1.122	10.00	6.732	Total
13	PROVISIÓN Y COLOCACIÓN DE TUBOS ARMCO								
	Alcantarillas de alivio	ML	7.48			7.48	10.00	44.88	
	Alcantarillas de paso	ML	8.40			8.40	7.00	58.80	
								103.68	Total
14	H° C° TIPO C 33% P.D. P/ OBRAS DE ARTE	M3				29.14	1.00	29.14	Total
15	MAMPOSTERÍA DE PIEDRA	M3				1.465	10.00	9.23	Total
16	RELLENO Y COMPACTADO DE OBRAS DE DRENAJE	M3				26.98	1.00	26.98	Total
17	CUNETA REVESTIDA CON PIEDRA ZAMPEADA	M2	1282.80	1.46		1872.89	1.00	82.00	Total
OBRAS COMPLEMENTARIAS									
18	LIMPIEZA GENERAL	KM	5.04			5.04	1.00	5.04	Total
19	LETRERO DE OBRA	PZA				1.00	2.00	2.00	Total

3.2 PRESUPUESTO.-

3.2.1 PRECIOS UNITARIOS.-

Este es un método analítico que consiste, en determinar los precios unitarios de cada uno de los ítems basados en los cómputos métricos, que forman parte del camino.

Ya que esto nos permitirá conocer el costo total de la obra, al sumar todos los ítems que se toman en cuenta.

Para el análisis de predios unitarios del proyecto de grado de acuerdo al decreto supremo N° 27328 para licitación del sector público correspondiente al formulario B-2, porcentajes regulados por decreto supremo.

Tabla 2: Porcentajes regulados por decreto supremo 27328

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE
CARGAS SOCIALES	55-71.18% del subtotal de mano de obra.
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO: IVA	14.94% del subtotal de mano de obra + cargas sociales
UTILIDAD	10-20% de (Materiales, Mano de obra, Equipo, Maquinaria, Herramientas, Gastos generales y Administrativo)
IMPUESTO A LA TRANSACCIÓN: IT	3.09% (Materiales, Mano de obra, Equipo, Maquinaria, Herramientas, Gastos generales, Administrativo, utilidad)

Fuente: Estructura de costos

Tabla 3: Precios de mano de obra

DESCRIPCIÓN	TOTAL
	HORA
	Bs
Alarife	8.54
Albañil	15.45
Capataz	15.45
Chofer	12.27
Maestro Encofrador	16,50
Pintor	18.00
Operador Equipo Liviano	14.18
Operador Equipo Pesado	15.45
Operador Planta	16,37
Peón	8.54
Topógrafo	15.45
Ayudante Maquinaria Y Equipo	8.54
Operador Vibrador De Hormigón	13,14
Carpintero Encofrador	14,18
Ayudante de Albañil	10.51
Operador Distribuidor de Asfalto	16.37

Fuente: SEDECA (Servicio departamental de caminos)

Tabla 4: Costo horario de maquinaria y equipo

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO COTIZADO Bs
1	Estación total	Hr.	20.05
2	Camión cisterna 10000 Lt.	Hr.	199.75
3	Cargador Frontal de ruedas	Hr.	336.15
4	Distribuidor de asfalto de 10000 Lt.	Hr.	373.31
5	Compactadora Rodillo Liso vibrante	Hr.	260.00
6	Retroexcavadora a neumáticos	Hr.	250.00
7	Motoniveladora 140G	Hr.	340.47
8	Escoba mecánica no autopropulsada	Hr.	11.78
9	Tractor de oruga c/esc. Y c/top. D7	Hr.	427.70
10	Tractor camión Low Boy	Hr.	240.00
11	Distribuidor de agregados	Hr.	250.10
12	Compactador de rodillo neumático de 10Tn.	Hr.	288.47
13	Volqueta 12 m ³	Hr.	120.00
14	Compactadora rodillo pata de cabra	Hr.	257.04
15	Distribuidor de asfalto	Hr.	242.14
16	Compactadora manual de placa vibrante	Hr.	25.00
17	Equipo soldador	Hr.	40.00
18	Generador eléctrico	Hr.	40.00
19	Mezcladora de hormigón 500 Lt.	Hr.	38.38

Fuente: SEDECA (Servicio departamental de caminos)

Tabla 5: Precios de materiales

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO COTIZADO Bs
1	Estacas de madera	Pza.	1.50
2	Pintura al aceite	Lt.	55.00
3	Clavo	Kg.	13.00
4	Cemento asfáltico	Lt.	13.58
5	Solvente para asfalto (Kerosene)	Lt.	5.00
6	Arena fina	m ³ .	100.00
7	Tubo de chapa ARMCO d = 1.00 m.	ml.	1433.30
8	Tubo de chapa ARMCO d = 1.20 m.	ml.	1720.40
9	Tubo de chapa ARMCO d = 1.50 m.	ml.	2526.70
10	Cemento Portland	Kg.	1.10
11	Arena Común	m ³ .	145.00
12	Grava	m ³ .	150.00
13	Piedra	m ³ .	125.00
14	Madera de encofrado	P ²	7.00
15	Alambre de amarre	Kg.	13.00
16	Piedra manzana	m ³ .	125.00
17	Material seleccionado para la base	m ³ .	63.000
18	Material seleccionado para la subbase	m ³ .	56.00

Fuente: SEDECA (Servicio departamental de caminos)

Tabla 6: Planilla de precios unitarios

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

DATOS GENERALES					
Proyecto	DISEÑO FINAL DE INGENIERIA " SAN TELMO RIO BERMEJO - COOP. J. KENNEDY "				
Actividad	INSTALACIÓN DE FAENAS				
Unidad	GLB				
Moneda	BOLIVIANOS				
1. MATERIALES					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
	VARIOS PARA INSTALACION DE FAENAS	GLB	1.000	25,000.000	25,000.000
TOTAL MATERIALES					25,000.000
2. MANO DE OBRA					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
	ALBAÑIL	HR	20.000	15.450	309.000
	PEÓN	HR	35.000	8.540	298.900
SUBTOTAL MANO DE OBRA					607.900
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)				65%	395.14
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)				14.94%	149.85
TOTAL MANO DE OBRA					1,152.89
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
*	HERRAMIENTAS = (5% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			0.050	57.644
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					57.644
					COSTO TOTAL
*	GASTOS GENERALES = 15% DE 1 + 2 + 3			0.150	3,931.58
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					3,931.58
5. UTILIDAD					
					COSTO TOTAL
*	UTILIDAD = 10% DE 1 + 2 + 3 + 4			0.100	3,014.21
TOTAL UTILIDAD					3,014.21
6. IMPUESTOS					
					COSTO TOTAL
*	IMPUESTOS IT = 3.09% DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			0.031	1,024.530
TOTAL IMPUESTOS					1,024.530
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)					34,180.85
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)					34,180.85

NOTA: Este formulario esta llenado por el UNIV. GARCIA TARRAGA GONZALO de manera coherente con las especificaciones técnicas, metodología propuesta, aplicando las leyes sociales y tributarias vigentes

Los precios unitarios de los demás ítems se pueden observar en anexo 10.

3.2.2 PRESUPUESTO GENERAL.-

Representa el valor total estimado que tendrá el camino, al ser construido este no es un valor fijo ya que puede variar a medida que se ejecute la obra.

Tabla 7: Resultado del presupuesto general con Carpeta Asfáltica

PRESUPUESTO GENERAL					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
OBRAS PRELIMINARES					
1	instalación de faenas	GLB	1.00	34,180.85	34,180.85
2	movilización y desmovilización	GLB	1.00	10,398.91	10,398.91
3	replanteo y control topográfico	KM	5.04	1,373.52	6,922.02
MOVIMIENTO DE TIERRAS					
4	excavación terreno blando c/equipo	M3	32,042.80	22.04	706,237.03
5	conformación y compactado de terraplén	M3	29,500.70	25.06	739,316.67
PAVIMENTO					
6	conformación de capa subbase	M3	5,997.18	126.70	759,836.02
7	conformación de capa base	M3	3,527.76	137.86	486,344.79
8	imprimación bituminosa	M2	35,277.55	22.05	777,967.02
9	carpeta asfáltica	M3	1,763.88	2,463.55	4,345,399.61
OBRAS DE ARTE MENOR					
10	trazado y replanteo de obras de arte	PZA	17.00	127.87	2,173.79
11	excavación no clasificada p/obras de drenaje menor	M3	220.46	31.07	6,848.74
12	cama de arena seleccionada	M3	30.60	150.95	4,618.99
13	provisión y colocación de tubos Armco	ML	194.00	7,222.60	1,401,185.04
14	H° C° tipo c 33% p.d. p/ obras de arte	M3	29.14	1,288.81	37,556.01
15	mampostería de piedra	M3	15.38	994.00	15,290.18
16	relleno y compactado de obras de drenaje	M3	27.50	22.76	625.79
17	cuneta revestida con piedra zampeada	M2	62.00	72.78	4,512.37
OBRAS COMPLEMENTARIAS					
18	limpieza general	KM	5.04	270.97	1,365.57
19	letrero de obra	PZA	2.00	2,017.43	4,034.85
PRECIO TOTAL Bs (Numeral)				9,344,814.27	

Tabla 8: Resultado del Presupuesto General con Tratamiento Superficial Doble

PRESUPUESTO GENERAL					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
OBRAS PRELIMINARES					
1	instalación de faenas	GLB	1.00	34,180.85	34,180.85
2	movilización y desmovilización	GLB	1.00	10,398.91	10,398.91
3	replanteo y control topográfico	KM	5.04	1,373.52	6,922.02
MOVIMIENTO DE TIERRAS					
4	excavación terreno blando c/equipo	M3	32,042.80	22.04	706,237.03
5	conformación y compactado de terraplén	M3	29,500.70	25.06	739,316.67
PAVIMENTO					
6	conformación de capa subbase	M3	6,349.96	126.70	804,532.26
7	conformación de capa base	M3	5,291.63	137.86	729,517.19
8	imprimación bituminosa	M2	35,277.55	22.05	777,967.02
9	tratamiento superficial doble	M3	35,277.55	60.49	2,133,985.07
OBRAS DE ARTE MENOR					
10	trazado y replanteo de obras de arte	PZA	17.00	127.87	2,173.79
11	excavación no clasificada p/obras de drenaje menor	M3	220.46	31.07	6,848.74
12	cama de arena seleccionada	M3	30.60	150.95	4,618.99
13	provisión y colocación de tubos Armco	ML	194.00	7,222.60	1,401,185.04
14	H° C° tipo c 33% p.d. p/ obras de arte	M3	29.14	1,288.81	37,556.01
15	mampostería de piedra	M3	15.38	994.00	15,290.18
16	relleno y compactado de obras de drenaje	M3	27.50	22.76	625.79
17	cuneta revestida con piedra zampeada	M2	62.00	72.78	4,512.37
OBRAS COMPLEMENTARIAS					
18	limpieza general	KM	5.04	270.97	1,365.57
19	letrero de obra	PZA	2.00	2,017.43	4,034.85
PRECIO TOTAL Bs (Numeral)				7,421,268.37	

Ahora se muestra el costo monetario de las alternativas planteadas.

COSTO MONETARIO CARPETA ASFÁLTICA		
Costo total:	9,344,814	Bs
Costo total:	1,342,646	\$us
Costo por km:	1,854,130	Bs
	266,398	\$us
COSTO PORCENTUAL		
Obras Preliminares:	0.55	%
Movimientos de Tierra:	15.47	%
Pavimento:	68.16	%
Obras de Arte Menor:	15.76	%
Obras Complementarias:	0.06	%
TOTAL:	100	%

COSTO MONETARIO TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE		
Costo total:	7,421,268	Bs
Costo total:	1,066,274	\$us
Costo por km:	1,472,474	Bs
	211,562	\$us
COSTO PORCENTUAL		
Obras Preliminares:	0.69	%
Movimientos de Tierra:	19.48	%
Pavimento:	59.91	%
Obras de Arte Menor:	19.85	%
Obras Complementarias:	0.07	%
TOTAL:	100	%

3.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE RODADURA.-

Planteada las dos alternativas, corresponderá a través de un análisis técnico y económico para determinar la mejor alternativa que permita tener el camino en buenas condiciones durante el periodo estimado de diseño de 15 años.

De acuerdo a sus dimensiones del paquete estructural y rodadura, el costo obtenido de la alternativa I es mayor con respecto a la alternativa II, sin embargo desde el punto de vista de la durabilidad los tratamientos superficiales únicamente es factible para ejes equivalentes menores a 50,000 ESAL's por tanto no es conveniente diseñar esta alternativa puesto que sus propias características es muy difícil que supere el periodo de 5 a 6 años de vida útil.

A continuación se muestra una tabla comparativa entre las alternativas a elegir.

Tabla 9: Tabla comparativa de tipo de rodadura

ALTERNATIVAS					
ALTERNATIVA I			ALTERNATIVA II		
Técnico	Carpeta Asfáltica (cm):	5.0	Técnico	Tratamiento Superficial Doble (cm):	2.5
	Capa Base (cm):	10.0		Capa Base (cm):	15.0
	Capa Subbase (cm):	17.0		Capa Sub Base (cm):	18.0
Económico	Presupuesto General	9,344,814.27 Bs	Económico	Presupuesto General:	7,421,268.37 Bs
	Costo por Km:	1,854,130 Bs.		Costo por Km:	1,472,474 Bs
Vida Útil	15 años		Vida Útil	6 años	

Fuente: Elaboración propia

Es por lo mencionado que el tipo de pavimento a elegir es la carpeta asfáltica.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.-

- El Proyecto a diseño final de ingeniería "SAN TELMO RÍO BERMEJO - COOPERATIVA J. KENNEDY", se categoriza como un Camino de Desarrollo con una velocidad de proyecto de 40 km/hr.
- Mediante los análisis de laboratorio de suelos desarrollados se deduce que las características del suelo de la subrasante es de pésimo a buena calidad, oscilando valores de la capacidad portante de suelo de 4.03 % hasta el 20 %.
- Según el estudio de tráfico vehicular se determinó un tráfico promedio diario anual de 15 vehículos, lo que corresponde a un camino de bajo volumen de tráfico.
- La Topografía de la zona del proyecto presenta terrenos ondulado medio, siendo la pendiente longitudinal mínima en el alineamiento de 0,2% y la máxima de 9.44 % en el diseño.
- En el alineamiento en planta se diseñó 40 curvas circulares con radios que comprenden de 50 metros siendo el mínimo admitido, hasta radios de 200 metros.
- En la geometría del perfil se diseñaron 18 curvas verticales con longitud mínima de 40 m, de las cuales 9 corresponden a curvas convexas y 9 cóncavas.
- En el diseño del proyecto se tiene 7 alcantarillas de cruce tipo ARMCO con diámetros comerciales de 1.00, 1.20 y 1.50 metros, 10 alcantarillas de alivio con dimensiones hidráulicas de 0.5 y 0.6 metros de diámetro; pero por fines de limpieza el diámetro constructivo es de 1.00 metros.
- La cuneta se diseñó de forma triangular porque tiene una erosión menor y un proceso de construcción más fácil, su altura es de 0.40 metros contando con un borde libre de 0.05 metros.

- Desde el punto de vista técnico, económico y de durabilidad se llevó a cabo la elección del paquete estructural y tipo de rodadura.

El dimensionamiento del tratamiento superficial es: capa subbase 0.18m, base 0.15 m, rodadura 0.025m, con vida útil de 6 años y un costo del tratamiento superficial doble de 8.64 \$/m² llegando a ser el presupuesto general del proyecto de 7, 421,268.37 Bs.

Optando por carpeta asfáltica las dimensiones de las capas son: subbase 0.17m, base 0.10 m, rodadura 0.05m, con vida útil de 15 años y un costo de la carpeta asfáltica de 18 \$/m² llegando a costar la obra un total de 9, 344,814.27 Bs.

4.2 RECOMENDACIONES.-

- Se recomienda realizar un análisis de cargas de los vehículos que circulan en el área del proyecto ya que estos inciden en el diseño estructural del pavimento.
- En el dimensionamiento del pavimento flexible se recomienda adoptar parámetros que estén por el lado de la seguridad para contar con espesores adecuados en el diseño.
- Ejecutado el proyecto se recomienda tener un plan de sostenibilidad del camino, es decir, una planificación en operación y mantenimiento.