

DISEÑO FINAL: ASFALTADO CRUCE RUTA F-11 (SANTA ANA LA NUEVA) – CRUCE RUTA F-1 (LA PINTADA)

CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN

Las comunidades de Santa Ana La Nueva y La Pintada, no han podido contar con un proyecto de asfaltado que apoye a la producción agropecuaria, a lo largo de los años y permita a los productores de esta zona incrementar su producción vitivinícola, agropecuaria, etc; y por ende aumentar sus ingresos

El proyecto total prevé el asfaltado de 9.56 Km. de camino, mediante el cual se podrá satisfacer la demanda de los comunarios de contar con tramos carreteros en óptimas condiciones para poder transportar su producción a la ciudad. Este proyecto sirve de conexión de dos carreteras fundamentales puesto que une la carretera F-11 (carretera al Chaco), con la carretera F-1 (carretera a Bermejo), comienza en la progresiva 0+000 (Cruce F-11) y termina en la progresiva 9+560 (Cruce F-1), dotándole de estructuras de drenaje y de un pavimento adecuado para un tráfico continuo y seguro.

1.1. ANTECEDENTES

La falta de caminos accesibles en el departamento, ocasiona un mayor costo de transporte en la comercialización de la producción agrícola de la zona, dando como resultado desventajas comparativas en el mercado departamental y nacional. Esto produce un retraso en el desarrollo económico-social tanto en las comunidades como en el departamento de Tarija.

El camino actual (rodadura de piedra), presenta un diseño geométrico donde sus características técnicas relacionadas con el alineamiento vertical y horizontal, ancho de plataforma, drenaje precarios; se encuentran satisfactoriamente con las normas técnicas de carreteras.

El mejoramiento del camino mediante su asfaltado vendrá a suplir las desventajas mencionadas con anterioridad, posibilitando una mayor fluidez en la comercialización de

la producción agrícola y vitivinícola a un menor costo, mejorando de esa forma los ingresos agrícolas de los productores influenciados por el Proyecto y por ende el desarrollo económico-social del departamento de Tarija.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El lugar afectado por la ejecución del proyecto, son zonas productoras de nuestro departamento en el ámbito de la producción agrícola y vitivinícola, estas actividades constituyen la fuente principal de ingresos de la población del lugar, pero debido a las condiciones del camino actual el progreso de esta zona avanza lentamente.

El impacto de un proyecto de este tipo, como mejoramiento de los caminos ya existentes, es siempre positivo porque se incrementarán las actividades productivas de esta zona aumentando así los ingresos de los productores del área a través de un mejor acceso a los mercados y la oportunidad de un crecimiento en su producción que constituirá el desarrollo en sus actividades económicas logrando también una integración de todas las comunidades beneficiadas.

El desarrollo de las comunidades en general depende básicamente de los medios de transporte, la falta de una buena infraestructura caminera es uno de los mayores obstáculos para lograr un mayor desarrollo económico y social; al realizar el diseño de un proyecto de este tipo se ve la factibilidad de construcción que se tiene y la posibilidad de hacerse realidad es mayor.

El realizar este proyecto a nivel de diseño final es muy importante para la aplicación de todos los conocimientos adquiridos durante los años de avance en la universidad, específicamente en la carrera de Ingeniería Civil.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio a Diseño Final de Ingeniería "Asfaltado Cruce Ruta F-11 (Santa Ana La Nueva) – Cruce Ruta F-1 (La Pintada)", siguiendo el diseño geométrico del camino actual, realizando mejoras en su sistema de drenaje y completando el diseño con el cálculo de los espesores de la carpeta estructural de acuerdo a las normas bolivianas vigentes.

1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros de diseño geométrico de acuerdo al Manual de la Administradora Boliviana de Caminos (ABC).
- Ejecutar el levantamiento topográfico a lo largo del eje preliminar que en este caso será el camino actual, con el fin de obtener las coordenadas y elevaciones del terreno.
- Realizar el análisis de suelos para conocer la calidad de fundación que tendremos para la carretera y para poder diseñar la carpeta estructural.
- Revisar el estudio hidrológico para diseñar las obras de arte menor, necesarias para un sistema de drenaje acorde al diseño geométrico.
- Determinar el tráfico actual y futuro para un diseño óptimo de un pavimento de acuerdo a los requerimientos en el tramo.
- Realizar un análisis de alternativas en función al diseño del pavimento, comparando los resultados del pavimento flexible, rígido, o un tratamiento superficial y definir al más adecuado.
- Determinar los cálculos métricos y precios unitarios para concluir con un presupuesto general.
- Establecer conclusiones y recomendaciones sobre el proyecto.

1.4. ALCANCE

La nueva carretera se desarrollará tomando como base el camino actual que pasa por los centros de las comunidades de Santa Ana hasta llegar a La Pintada y se la convertirá en una carretera de dos carriles.

En el Capítulo I se describe la introducción al proyecto, antecedentes de la zona, ubicación y fundamentalmente los objetivos que han de cumplirse durante la realización del diseño.

El proyecto se desarrollará principalmente en el Capítulo II llamado: ingeniería del proyecto, donde se encuentra la parte fundamental del mismo, en este capítulo podremos ver los estudios previos al diseño (topografía, geotecnia, hidrología y tráfico).

En el Capítulo III y IV determinare los parámetros correspondientes de diseño geométrico y estructural de acuerdo al tipo de carretera y a las normas de nuestro país.

En el Capítulo V, se efectuarán el análisis de los cómputos métricos y precios unitarios; para finalizar en el Capítulo VI con las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

1.5. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el desarrollo del presente trabajo consistió en:

- Revisión bibliográfica sobre métodos de diseño, aspectos constructivos en las obras viales, con atención en los pavimentos tanto flexibles como rígidos y del tipo tratamiento superficial.
- Realizar el levantamiento topográfico para continuar con el estudio de las relaciones de planimetría y altimetría, que representan el relieve del terreno, ya que a través de los parámetros obtenidos con la topografía podremos

encontrar resultados exactos de las magnitudes en el terreno que se necesitan para el diseño geométrico y así obtener el trazo de la carretera.

- Definir los parámetros geométricos según el tipo de carretera de acuerdo a las normas de la Administradora Boliviana de Caminos (ABC), se realizará el diseño geométrico en el programa operativo AutoCad Civil 3D, tratando en lo posible no afectar a las propiedades agrícolas y tomando en cuenta principalmente las normas bolivianas para el diseño y construcción de caminos.
- En el alineamiento vertical se diseñará una rasante con pendientes largas y moderadas, tratando de evitar variaciones bruscas y considerando una adecuada distancia de visibilidad.
- En el alineamiento horizontal se definirá la longitud de los tramos rectos atendiendo a las características topográficas del terreno proporcionando la distancia mínima de visibilidad de frenado a los vehículos.
- En función a las secciones transversales definiremos el nuevo ancho de calzada, y las características geométricas transversales de la carretera.
- Analizando el estudio hidrológico se realizará el diseño de una alcantarilla Tipo y cunetas de sección triangular para mejorar la circulación de agua sin dañar ni perjudicar la transitabilidad por esta carretera, y definiendo la ubicación de las mismas.
- El procedimiento de diseño del pavimento se basa en el estudio de suelos y el estudio de tráfico y consistirá en escoger una adecuada combinación de espesores de capas y características de los materiales, para que los esfuerzos y deformaciones causados por las solicitaciones a las que se somete la estructura permanezcan dentro de los límites admisibles durante la vida útil de la misma.
- El paquete estructural estará conformado por las capas base y sub base de espesores uniformes que serán calculados con el método AASHTO a partir de las características generales y específicas del tramo y sus estudios. Después de

obtenidos los resultados con el método AASHTO, se utilizará el software DIPAV 2.1 para calcular numéricamente los espesores, definiendo el más adecuado.

- Obtenidos todos los datos de diseño final y cálculos métricos, se procederá al cálculo de los precios unitarios por ítem y finalmente el presupuesto general.
- Se finalizará realizando un resumen de las conclusiones del proyecto y una serie de recomendaciones del mismo.

1.6. UBICACIÓN

El área que cubre el Proyecto se encuentra en la provincia Cercado en el Departamento de Tarija, y pertenece a la Sub-Alcaldía de Santa Ana. Cruza de Noreste-Suroeste desde el cruce con la ruta F-11 (Tramo Tarija Villamontes Br. 94) hasta la intersección con la ruta F-1 (Tramo Tarija-Bermejo) en una longitud aproximada de 9.56 Km. Encontrándose a la comunidad de Santa Ana La Nueva en la zona de la mitad del circuito.

Inicio: en la intersección con la ruta F-11 está en la coordenadas: Lat: 21°32'57.02" S y Long: 64°35'26.66" O; Cota: 1964 m.s.n.m

Final: en la intersección con la ruta F-1 en las coordenadas Lat: 21°34'29.51" S y Long: 64°35'57.21" O; Cota: 1863 m.s.n.m.

FIGURA N° 1 UBICACIÓN FÍSICA Y GEOGRÁFICA



S u c r e



Potosi

ARGENTINA

CAPÍTULO II.- INGENIERÍA DEL PROYECTO

2.1. ASPECTOS GENERALES DEL TRAMO EN ESTUDIO

2.1.1. ASPECTOS TÉCNICOS

El Área del Proyecto forma parte de Provincia Cercado del Departamento de Tarija, ubicado en las coordenadas geográficas, 21°30' latitud sur y 64°45' longitud oeste, con una longitud de 9.56 Km. presenta un clima semiárido fresco, con algún exceso de agua.

Las zona tiene una topografía ondulada que hacen a Santa Ana La Nueva y a La Pintada, que se encuentren limitados por llanuras ligeramente onduladas, con alturas mínima de 1.829 m.s.n.m. y una altura máxima de 1.970 m.s.n.m., con una altura promedio entre Santa Ana La Nueva y La Pintada a de 1.882 m.s.n.m, una breve descripción de estas características muestra que:

La Llanura Fluvio Lacustre.- Es un paisaje resultante de la acción combinada de las aguas fluviales y lacustres, con materiales sedimentarios transportados por los cursos de agua, la topografía varía de plana a poco ondulada.

La parte baja o del Valle, constituye una zona aluvial caracterizada por ser cultivable, con suelos arcillosos, arenosos, y presencia de grava, que van de moderadamente profundos a profundos y regularmente bien drenados.

Actualmente el camino se encuentra en fase de empedrado con un ancho promedio de plataforma de 8 m, con un ensanchamiento a 9 m. en la progresiva 8+930 - 8+960 debido a la existencia de un puente.

2.2. ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO

2.2.1. ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Para la ejecución de un proyecto de diseño geométrico es necesario partir por las características de terreno del lugar donde va hacer ejecutada la obra, para ello se recurre a la Topografía la cual nos ayudará a realizar un levantamiento topográfico del lugar, es decir una representación de terreno del proyecto.

2.2.1.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Metodología o trabajo de campo

En el tramo se utilizó los puntos levantados con GPS para orientar la estación total y poder comenzar los trabajos.

Una vez orientada la Estación Total, se procede a la medición (disparos a prismas) de distintos puntos relevantes o de importancia topográfica.

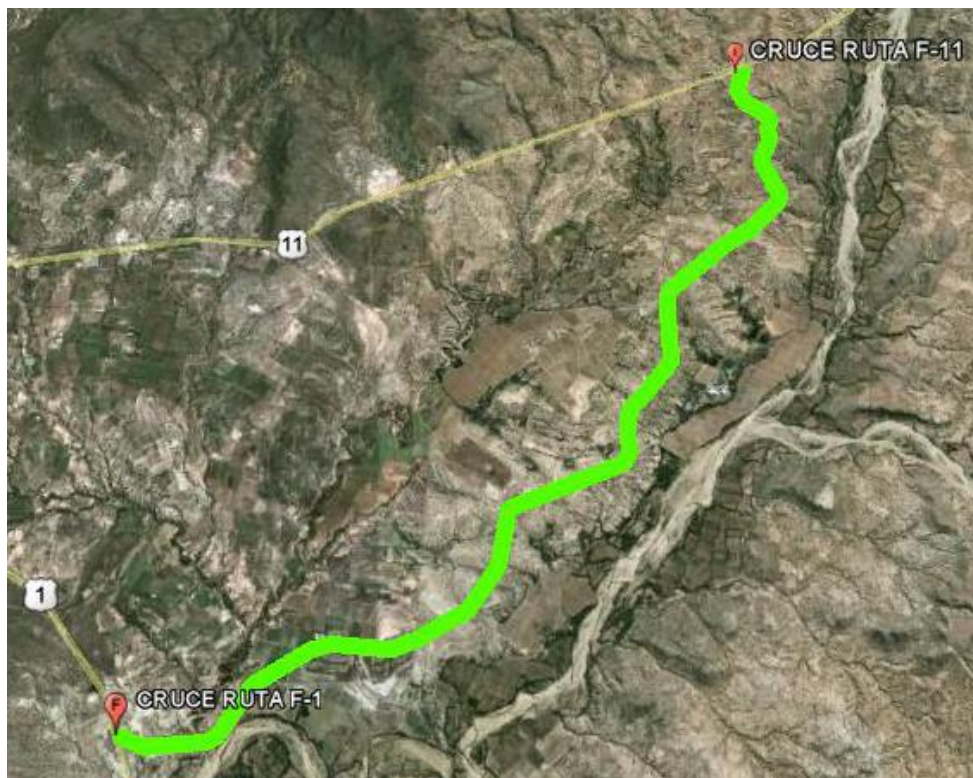
El operador de la Estación Total, se sitúa en un lugar estratégico donde tenga una visual adecuada para observar la mayor cantidad de puntos en la franja del levantamiento.

Los operadores de prismas, posicionan su jalón en la mayor cantidad de puntos representativos de la topografía a levantar.

De esta manera los puntos donde se estaciona el equipo se convierten en las vértices de la Poligonal Base que debidamente estaqueados y referenciados colocando mojones, pintando en las partes visibles y sobre el mismo mojón el nombre del punto para su posterior localización.

El estudio topográfico fue realizado por mi persona y se realizó para el camino completo (Cruce Ruta F-11 - Cruce Ruta F-1), es decir, el levantamiento topográfico tiene una longitud de 9.56 kilómetros, tomando en cuenta que sigue el mismo trazo del camino existente.

FIGURA N° 2 CROQUIS PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO



Fotografía aérea de todo el trayecto, que sirvieron como croquis para el levantamiento.

Imagen satelital tomada del GoogleEarth.

2.2.1.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO UTILIZADO

FIGURA N° 3 ESTACIÓN TOTAL SOKKIA SET 530 RK



Las siguientes son las especificaciones más importantes del equipo utilizado.

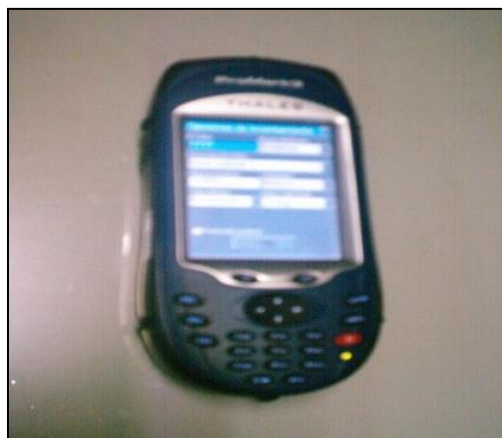
TABLA N°1 ESPECIFICACIONES DE ESTACIÓN TOTAL SOKKIA SERIE SET530RK

Unidad		metros / pies / plg. seleccionable
Resolucion de pantalla	Medicion fina	0.001m
	Medicion rapida	0.001m
	Medicion de rastreo	0.01m
Tiempo de medicion	Medicion fina	cada 1.6 seg
	Medicion rapida	cada 0.8 seg
	Medicion de rastreo	cada 0.3 seg
Modo de medicion		medicion fina / medicion rapida / seguimiento , seleccionable
Correccion atmosferica		(1) temperatura /entrada de temperatura, (2) entrada ppm, (3) sin compensacion.
Correccion constante del prisma		- 99 hasta + 99 mm
Refraccion & correccion de la curvatura de la tierra		encendido / apagado , seleccionable
Almacenamiento y transferencia de datos		
almacenamiento de datos	Memoria interna	unos 10000 puntos
	Unidad de tarjeta de memoria compacta flash*2	opcional
Regulacion del factor de escala		0.5 hasta 0.2
Interface		serial asincrono, compatible con RS-232C
Salida de la impresora		compatible con centronics
General		
Pantalla		LCD matriz de puntos alfanumerico con luz posterior en una cara.
Teclado		4 teclas programables y 11 en cada cara
Teclado inalambrico		
sensibilidad de los niveles	Nivel de placa	40"/2mm
	Nivel circular (en la base nivelante)	10"/2mm
	Nivel de LCD grafico	3' / circuito externo
Plomada optica (laser opcional)		imagen: directa, magnificacion:3x, enfoquer minimo: 0.3 m
Proteccion contra el agua y polvo		conformidad con la base IP66
Temperatura de operacion *3		- 20°C hasta +50°C
Altura del eje de inclinacion/ Soporte giratorio		236 mm desde el fondo de la base nivelante, 193 mm desde el plato de la base nivelante
Tamaño con mango y bateria		ancho 165 x prof. 170 x alt. 341 mm
Peso con mango, bateria y base nivelante		5.2 kg.
Suministro de energia		
		voltaje de operacion 6.7 v - 8.2 v
		tiempo de recarga con cargador rapido standrad: menos de 2 horas
Pantalla del nivel de la bateria		4 pasos con mensaje de advertencia
Corte automatico de la energia		30/15/10/5 minutos despues de la ultima operacion
Codigo de seguridad anti robos		incluido.

GPS MARCA PROMARK 3

GPS estacionario de alta precision marca **Promark3™** y software de post-proceso **ASHTECH SOLUTIONS** Thales Navigation, Sta Clara, CA, USA.

FIGURA N°4 GPS PROMARK 3



2.2.1.3. TRABAJO DE GABINETE

Concluido el Trabajo de Campo se procede a la modelación del terreno levantando en forma digital en una computadora, para esto, se empleó el Software Autocad Civil 3D, para la modelación hasta reproducir las curvas de nivel de terreno y modelar la superficie del campo virtualmente en el ordenador.

El detalle de coordenadas geográficas del levantamiento topográfico se encuentra en el **Anexo 1.**

2.2.1.4 DETERMINACIÓN DEL MODELO DETERRENO

El primer paso es vaciar los datos de la Estación Total al ordenador en forma de Coordenadas Cartesianas (X, Y, Z); (Este, Norte, Altura); cada punto en el espacio servirá como dato para que la PC pueda modelar la superficie virtual, con los datos de cada punto (Borde de Camino, Cuneta, Cerco, etc.) construyendo un mapa gráfico tanto con las curvas de Nivel que genera el programa, como los detalles particulares de la zona.

La gran cantidad de datos (puntos) provenientes de la Estación Total creados en varios trabajos (JOB`s), deben ser ordenados y clasificados en EXCEL para una correcta modelación.

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

2.2.2. ESTUDIO DE SUELOS

Para conocer las propiedades de los suelos en un proyecto, es necesario tomar muestras en todo el desarrollo del mismo (calicatas), posteriormente en el laboratorio se determinarán sus propiedades:

- Contenido de Humedad.
- Granulometría.
- Límites de Atterberg (límite líquido, límite plástico e índice plasticidad)

- Compactación (Proctor Modificado T-180).
- Valor Soporte (CBR).

2.2.2.1. TRABAJO DE CAMPO

MUESTREO DE SUELOS

Se ha realizado la investigación geotécnica correspondiente a lo largo del trazado, habiéndose efectuado una calicata aproximadamente cada 500 metros de espaciamiento en los primeros 4000 metros y luego se tomó muestras cada 1000 metros hasta el final del tramo a diseñarse.

La profundidad excavada ha sido de un mínimo de 0.20 – 0.30 metros con la finalidad de efectuar un reconocimiento de los suelos y materiales naturales existentes en esta zona.

Se excavaron 13 calicatas de investigación a lo largo del tramo, se inició en Cruce Ruta F-11(Santa Ana La Nueva), hasta llegar al Cruce Ruta F-1 (La Pintada), ubicada a 9.56 Km del punto inicial.

2.2.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

- **CONTENIDO DE HUMEDAD.-**

La humedad en un suelo siempre está presente. Es un requisito indispensable en todas las obras de ingeniería, hallar que porcentaje de agua conforma la masa del suelo con el que se trabaja. Una muestra de suelo tiene vacíos llenos de aire y otros con agua. En esta práctica nos avocaremos a los vacíos contenidos por el agua.

El contenido de humedad en una muestra de suelo se define como la cantidad de agua que se encuentra dentro de una muestra de suelo y se expresa en porcentaje.

Datos

Temperatura del horno: $T=105^{\circ}\text{C}$

Tiempo de evaporación: $t= 24$ Horas

Peso muestra húmeda: Ph= 500 gramos

TABLA N° 2 CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRA	Ps. HUM (gr.)	Ps. SEC (gr.)	W "(gr.)	W (%)
1	500	479,7	20,3	4,23
2	500	483,7	16,3	3,37
3	500	480,3	19,7	4,10
4	500	487,8	12,2	2,50
5	500	490,7	9,3	1,90
6	500	483,5	16,5	3,41
7	500	483,2	16,8	3,48
8	500	474,4	25,6	5,40
9	500	483,9	16,1	3,33
10	500	482,3	17,7	3,67
11	500	483,3	16,7	3,46
12	500	484,5	15,5	3,20
13	500	480,2	19,8	4,12

Fuente: Elaboración propia.

- **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.**

Este ensayo se lo efectuó mediante un proceso mecánico de tamizado, es una forma de cuantificar en porcentaje los pesos diferentes tamaños existentes en un suelo, este proceso solamente puede realizarse desde el tamiz de 2½’’ hasta el tamiz N° 200.

TABLA N° 3 NÚMERO DE TAMICES CON SU RESPECTIVO DIÁMETRO.

Tamices (pulg.)	tamaño (mm)
2 1/2	63
2	50
1 1/2	37,50
1	25,00
3/4	19,00
1/2	12,50
3/8	9,50
N°4	4,75
N°10	2,00
N°40	0,425
N°200	0,075

Fuente: Crespo, “Mecánica de Suelos y Cimentaciones” 4ta edición, editorial Limusa.

A continuación se presenta una tabla resumen de la granulometría de todas las muestras.

TABLA N° 4 GRANULOMETRÍA

Porcentaje que pasa por el tamiz									
2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
87,44	80,30	60,25	55,89	47,51	45,39	34,90	25,03	11,74	1,36
100,00	86,67	74,86	67,27	56,17	50,54	38,87	27,03	10,27	1,28
100,00	94,24	74,06	65,90	56,31	51,75	42,63	34,93	24,72	1,53
100,00	94,30	72,50	59,49	51,18	40,57	31,90	12,43	8,13	1,53
87,19	80,68	59,77	55,18	46,43	44,39	34,91	23,69	9,61	2,61
100,00	80,00	72,20	65,30	56,10	49,60	39,80	31,80	19,20	5,40
100,00	93,60	83,70	63,20	54,90	44,80	36,10	25,80	12,60	5,00
96,70	86,10	74,60	58,20	49,90	44,70	28,10	20,90	11,70	4,00
88,50	81,30	62,20	56,20	47,90	43,10	30,60	18,70	7,00	3,90
87,40	79,70	60,40	56,10	47,70	42,40	27,90	18,10	8,30	1,80
100,00	92,70	86,70	69,90	57,90	41,50	31,40	19,00	12,20	6,80
94,20	80,20	74,20	66,80	58,20	41,00	32,40	19,30	8,60	6,40
91,40	81,20	67,90	62,30	55,70	52,70	45,90	33,40	9,70	3,70

Fuente: Elaboración propia.

- **LÍMITES DE CONSISTENCIA.-**

Existen diferentes tipos de Límites para el suelo, pero nos abocaremos al estudio de los Límites propuestos por A. Atterberg que son los siguientes:

- **Límite plástico** .- Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico.
- **Límite líquido** .- Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo esta en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

Además encontró que la diferencia entre los valores de los Límites de plasticidad, llamada **índice de plasticidad:**

$$\text{Índice de plasticidad} = \text{Límite líquido} - \text{Límite plástico}$$

El objetivo de la realización de esta práctica es determinar los límites de consistencia del suelo para poder clasificar al suelo según sus características y propiedades.

TABLA N° 5 LÍMITES DE CONSISTENCIA

N° DE MUESTRA	PROGRESIVA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD
1	0+500	17,17	14,58	2,58
2	1+000	21,45	18,33	3,12
3	1+500	20,97	15,48	5,50
4	2+000	19,17	16,61	2,56
5	2+500	19,95	NP	NP
6	3+000	21,47	15,74	5,73
7	3+500	23,50	18,27	5,23
8	4+500	23,50	20,04	3,47
9	5+500	18,69	NP	NP
10	6+500	22,52	18,33	4,19
11	7+500	22,70	18,33	4,37
12	8+500	18,24	NP	NP
13	9+500	15,94	NP	NP

Fuente: Elaboración propia.

• CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los suelos investigados han sido clasificados de acuerdo a los sistemas AASHTO y SUCS. Sobre la base de la caracterización en ambos sistemas de clasificación, se ha basado el análisis y las agrupaciones de las muestras indicadas, obteniendo la siguiente clasificación:

TABLA N° 6 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Muestra N°	Progr.	Clasificación de Suelos	
		AASHTO	SUCS
M1	0+500	A-1-a	GW
M2	1+000	A-1-a	GW
M3	1+500	A-1-a	GW
M4	2+000	A-1-b	SW
M5	2+500	A-1-a	GW
M6	3+000	A-1-b	SW
M7	3+500	A-1-b	SW
M8	4+500	A-1-a	GW
M9	5+500	A-1-a	GW
M10	6+500	A-1-b	SW
M11	7+500	A-2-4	GM
M12	8+500	A-2-4	GM
M13	9+500	A-1-a	GW

Fuente: Elaboración propia.

- **ENSAYO DE COMPACTACIÓN.-**

La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades ingenieriles.

La importancia de la compactación de suelos estriba en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

El objetivo de este ensayo es determinar la densidad máxima y la humedad óptima de las diferentes muestras de suelo obtenidas.

TABLA N° 7 RESULTADOS DE COMPACTACIÓN

Muestra N°	Progr.	Compactación T-180	
		D máx.	W ópt.
M1	0+500	2,17	5,60
M2	1+000	2,17	5,60
M3	1+500	2,17	5,60
M4	2+000	2,18	6,50
M5	2+500	2,17	5,60
M6	3+000	2,18	6,50
M7	3+500	2,18	6,50
M8	4+500	2,17	5,60
M9	5+500	2,17	5,60
M10	6+500	2,18	6,50
M11	7+500	2,02	6,46
M12	8+500	2,02	6,46
M13	9+500	2,17	5,60

Fuente: Elaboración propia.

- **VALOR SOPORTE CALIFORNIA (CBR).-**

El ensayo de CBR mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, pero

de la aseveración anterior es evidente que este número no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo. De paso, es interesante comentar que el experimento puede hacerse en el terreno o en el suelo compactado, pero en nuestro caso se realizó en el suelo compactado en laboratorio.

TABLA N° 8 RESULTADOS DE CBR

Muestra N°	Progr.	Soporte Relación California (C.B.R.)	
		100%	95%
M1	0+500	63,20	63,20
M2	1+000	63,20	63,20
M3	1+500	63,20	63,20
M4	2+000	60,00	60,00
M5	2+500	63,20	63,20
M6	3+000	60,00	60,00
M7	3+500	60,00	60,00
M8	4+500	63,20	63,20
M9	5+500	63,20	63,20
M10	6+500	60,00	60,00
M11	7+500	49,60	49,60
M12	8+500	49,60	49,60
M13	9+500	63,20	63,20

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.3. TRABAJO DE GABINETE (RESUMEN DE ENSAYOS)

El detalle de cada uno de los ensayos realizados se especifica en el Resumen General que se encuentra dentro del **Anexo 2**.

2.2.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO

2.2.3.1 INTRODUCCIÓN

La hidrología como ciencia que trata el agua sobre la tierra, su ocurrencia, distribución y circulación, sus propiedades físicas y químicas y su reacción con el medio ambiente incluso su relación con los seres vivos, ha sido y es de capital importancia en la elaboración y

ejecución de proyectos de Ingeniería vial. El agua es considerada como el principal enemigo de una vía de comunicación.

Este acápite trata el estudio hidrológico del Asfaltado Cruce Ruta F-11 – Cruce Ruta F-1, la parte correspondiente al análisis pluviométrico, determinación de las precipitaciones de diseño y caudales de máximos para el diseño hidráulico de las obras de arte.

La determinación de las curvas de intensidad - duración - frecuencia se basa en registros continuos de las lluvias a lo largo de un período de registro relativamente largo, como para poder realizar un análisis estadístico de las intensidades de lluvia para diferentes intervalos de tiempo. Sin embargo, la red pluviométrica nacional se compone de instrumentos que miden la precipitación totalizada en 24 horas y no así la medida de la precipitación en intervalos más cortos a 24 horas, como es el caso de los registros continuos medidos en los pluviógrafos, o instrumentos de medición continua modernos donde la transmisión de datos se desarrollan por data-loggers que almacenan la información en pulsos de menor intervalo de tiempo. En el caso del presente proyecto, no se tienen registros continuos de la lluvia en la zona de influencia del proyecto, por lo que no es posible determinar directamente las curvas de intensidad - duración - frecuencia para cada una de las zonas, por lo que se hace necesario construir la relación intensidad - duración - frecuencia en forma indirecta mediante relaciones de otras regiones.

2.2.3.2 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS.

En el área del proyecto existe la estación Climatológica de Yesera Norte, que registra los datos climatológicos predominantes de la zona que prácticamente representa en su mayor parte el área del proyecto, además por su manejo sostenido y confiable, tienen suficientes datos para determinar los principales parámetros que influyen en el estudio de la zona del proyecto. Por lo anteriormente señalado se ha tomado como base de los cálculos los datos registrados por esta estación y también se cuenta con la estación de Junacas.

- Temperatura.

La temperatura media mensual registrada en función de la altura (340 m.s.n.m.), dan como resultado una media anual de 15.1 °C.

TABLA N° 9 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
17,60	16,70	16,00	14,80	13,50	12,70	11,40	12,80	14,40	16,30	16,60	18,00

Fuente: datos obtenidos de SENAMHI.

- Precipitación Pluvial.

La precipitación Media anual en la zona del proyecto es de 666.7mm.

TABLA N° 10 PRECIPITACIÓN PLUVIAL MEDIA MENSUAL (mm.)

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
149,90	124,60	108,50	3,50	5,20	2,20	1,60	4,70	11,40	36,10	74,00	118,10

Fuente: datos obtenidos de SENAMHI.

- Humedad relativa.

Estos datos fueron obtenidos de la estación Climatológica de Yesera Norte, cuya media anual es de 69%, los datos detallados se encuentran en siguiente tabla:

TABLA N° 11 HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
73,00	76,00	79,00	81,00	81,00	80,00	74,00	70,00	66,00	65,00	67,00	68,00

Fuente: datos obtenidos de SENAMHI.

2.2.3.3 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DRENAJE

La base del estudio considera la evaluación de las variables hidrológicas que se puede obtener de la zona, a partir del cual se propone el sistema de drenaje, para lo cual se realizaron las siguientes tareas:

- Análisis del estudio hidrológico existente
- Evaluación de las precipitaciones extremas Simulación de caudales de cursos representativos.

Los caudales de crecida obtenidos en el presente estudio se determinaron mediante el método racional, definiendo por sectores caudales específicos de escurrimiento, es decir caudales por unidad de área y aplicando para todo el sector considerado un determinado escurrimiento específico.

Se consideró necesario el realizar una evaluación pluviométrica de la red existente en la zona a partir de las precipitaciones máximas extremas en 24 horas. De este modo, se lograron obtener resultados que posteriormente fueron confrontados con los valores de alturas máximas que se pueden obtener de levantamientos de la zona.

A continuación se da los datos pluviométricos de alturas de precipitación de las estaciones de Yesera Norte y de la estación de Junacas.

DATOS DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

TABLA N° 12 MEDIAS ANUALES DE ALTURA DE PRECIPITACIÓN (mm)

AÑO	Est. Yesera Norte	Est. Junacas
81-82	25	71
82-83	45	49
83-84	54,5	59
84-85	60,2	34,2
85-86	108,5	49
86-87	62,1	46,2
87-88	81	48,5
88-89	50,7	33,2
89-90	67,3	65
90-91	82,5	40
91-92	60,7	43
92-93	50,7	64,5
93-94	70,2	45,7
94-95	59	68,2
95-96	70,6	46,3
96-97	65,4	62
97-98	67	35,4
98-99	78	40
99-00	88	53,8
00-01	83,3	40
00-02	98	45,5
00-03	50,5	82
00-04	44,9	60,5
00-05	61,8	36,5
00-06	70,9	110,5
00-07	87,7	80,5
00-08	70,9	80,3
00-09	150,3	55
00-10	41,2	100

Fuente: datos obtenidos de SENAMHI.

2.2.3.3.1. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO

- **Criterios de Análisis**

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

registradas. Este proceso se realiza para cada serie de precipitaciones de cada una de las estaciones de la red pluviométrica considerada.

- **Parámetros estadísticos**

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

- Tendencia central
- Dispersión (desviación estándar)
- Asimetría (sesgo)

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

TABLA N° 13 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LOS VALORES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL

N°	Estación	Media (hd)	Desviación (sd)	Moda	Característica (k)
1.-	Yesera Norte	69.169	23.753	58.48	0.729
2.-	Junacas	56.717	19.506	47.93	0.731

Fuente: datos obtenidos de SENAMHI.

- **Ley de Distribución de probabilidades de GUMBEL.**

De acuerdo a las relaciones de las leyes de ajuste probabilística realizado en varias partes del mundo, las lluvias máximas registradas se distribuyen de acuerdo al ajuste de GUMBEL.

Aplicando la expresión de Gumbel modificada se obtienen las precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno.

$$h_{d,T} = E_d (1 + K_d \log T)$$

Las lluvias máximas de duración menor al valor diario, pueden estimar a partir de la ley de regresión de los valores modales, conociéndose el valor modal de la lluvia diaria. La ley de regresión es:

$$E_t = E_d (t/\alpha)^\beta$$

Dónde:

h_d = Media de la precipitación

$S(h)$ = Desviación típica

$E_d = h_d - 0.45 S(h)$ = Moda

$K_d = S(h) / (0.557 * E_d)$ = Característica

E_t = Valor modal para un tiempo t en horas

E_d = Moda de la lluvia diaria en mm

t = Tiempo en hrs.

α = Equivalencia de lluvia; Si $A < 20 \text{ Km}^2$ $\alpha=2$ y Si $A > 20 \text{ Km}^2$ $\alpha=12$

β = Coeficiente que varía de 0.2 a 0.3

El tiempo que corresponde a la lluvia diaria no es igual a la correspondiente a la de 24 horas, adoptándose el tiempo para una lluvia diaria de acuerdo a la región, tomándose para el área de acuerdo a relaciones encontradas por el proyecto a un tiempo igual a 2 horas, es decir:

$$E_t = E_d (t/2)^\beta$$

Remplazando en la expresión de Gumbel, se tiene:

$$H_{t,T} = E_t (1 + K_t \log T)$$

$$H_{t,T} = E_d (t/2)^{0.2} (1 + K_t \log T)$$

Donde $K_t = K_d$ y la expresión es válida para duración de lluvias mayores a 2 horas intensidad calculada con las ecuaciones explicadas en el presente inciso, porque los valores son mayores y coinciden con los puntos donde realizamos controles con los niveles máximos encontrados, por tanto estos valores fueron los utilizados para el dimensionamiento de alcantarillas a lo largo de la ruta.

- **Estimación de caudales Máximos**

Una vez que se tienen las relaciones Intensidad – Duración – Periodo de Retorno, los caudales máximos pueden estimarse usando el método o fórmula racional.

Este método es usado, en general, para la estimación de caudales máximos en obras de alcantarillas en carreteras y otras obras de arte.

- Método Racional

La ecuación del método racional responde a la siguiente expresión:

$$Q_t = 27.52 * (C i_{(t,T)} A)$$

Dónde:

Q_t = Caudal para un periodo de retorno T (m^3/s).

C = Coeficiente de escorrentía (relación entre la cantidad de agua que escurre entre el total de agua que precipita).

$I_{(t,T)}$ = Intensidad media máxima de precipitación (mm/hora), para una duración t y un periodo de retorno T.

A = Área de la cuenca o superficie drenada (km^2).

- Tiempo de Concentración

Existen fórmulas que dan el tiempo de concentración sin tener en cuenta la intensidad de la lluvia:

- **Ventura** $t_c = 0.1272 (A/I)^{1/2}$
- **Kirpich** $t_c = (0.00032 L^{1.15}) / H^{0.38}$
- **Giandotti** $t_c = (4 * A^{1/2} + 1.5 L) / 0.8 H^{1/2}$

Dónde:

A: superficie de la cuenca.

I: elevación del curso principal.

H: diferencia de altura entre desagüe y la cima de la cuenca.

L: longitud del curso principal.

En **Anexo III** se adjunta la memoria de cálculo de la hidrología del proyecto.

2.2.4. ESTUDIO DE TRÁFICO

Un pavimento se construye con la finalidad de brindar ciertas condiciones de circulación, cómodas, seguras y económicas al tráfico o tránsito que lo utilizará durante la vida útil.

2.2.4.1. PARÁMETROS DE TRÁFICO













El diseño estructural del pavimento tiene que ver ineludiblemente con la estimación del número y características de los vehículos que, de una manera razonablemente previsible, puedan circular sobre él.

El tránsito se considera la variable más importante en el diseño de una vía: el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

2.2.4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS

Los aforos de tránsito que se realizan para las carreteras consideran varias categorías o tipos de vehículos, como podemos observar en la siguiente tabla:

TABLA N° 14 CLASIFICACIÓN VEHICULAR

CODIGO	TIPO DE VEHÍCULOS	FIGURA
1	Automóviles y Vagonetas	
2	Camionetas (hasta 2 tn.)	
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	
MB	Microbuses(hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	
B2	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	
B3	Buses Grandes (hasta 35 pasajeros; de 3 ejes)	
C2m	Camiones Medianos (de 2,5 a 10 tn; de 2 ejes)	
C2	Camiones Grandes (más de 10 tn; de 2 ejes)	
C3	Camiones Grandes (más de 10 tn; de 3 ejes)	
CSR	Camiones Semiremolque	
CR	Camiones Remolque	
12	Otros Vehículos	

Fuente: Manual de Carreteras ABC

2.2.4.2. AFORO DE TRÁFICO DE CRUCE RUTA F-11 (SANTA ANA LA NUEVA) - CRUCE RUTA F-1 (LA PINTADA)



- **Trabajo de Campo**

El tránsito de vehículos en el **Cruce Ruta F-11 (Santa Ana La Nueva) - Cruce Ruta F-1 (La Pintada)**, se llevó a cabo en el mes de Febrero y parte del mes de Marzo, los aforos fueron realizados al inicio y al final del proyecto, con un tiempo de aforo de 12 horas (06:00 hr. - 18:00 hr.), durante un periodo de 10 días y tomando en cuenta los siguientes tipos de vehículos.

- Automóviles.
- Camionetas (hasta 2 tn.).

- Minibuses (hasta 15 pasajeros).
- Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes).
- Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 tn; de 2 ejes).
- Camiones Grandes (más de 10,0 tn; de 3 ejes).







TABLA N° 15 AFORO DEL TRÁFICO

TIPO DE VEHICULO	DIAS (06:00 - 18:00)									
	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
	12	11	13	14	18	12	13	12	15	15
	15	11	12	13	8	13	12	12	16	17
	5	4	2	3	7	6	5	6	6	6
	9	9	9	9	10	8	9	7	6	9
	20	21	20	23	27	16	19	21	18	18
	4	3	2	3	4	1	3	2	4	3

Fuente: Elaboración propia

Se incrementará un 50% más de vehículos debido a las otras 12 hr. que no fueron aforadas, obteniendo así la siguiente tabla.

TABLA N° 16 TRÁFICO DIARIO

TIPO DE VEHICULO	DIAS										T.P.D. NORMAL
	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	
	17	17	15	18	27	18	20	15	18	23	16
	20	14	18	17	12	18	18	14	21	23	15
	8	6	3	5	11	9	8	9	9	9	7
	12	12	14	14	15	11	12	11	9	14	11
	29	29	27	33	32	20	24	32	27	23	25
	6	5	3	5	6	2	3	3	6	5	4
TOTAL	90	81	80	90	102	77	84	83	90	95	79

Fuente: Elaboración propia.

- **Procesamiento de Gabinete**

El detalle del procedimiento de los conteos manuales realizados, junto con las planillas, y resultados de aforos se encuentra detallado en Anexo IV.

- **Proyección del Tráfico**

Tráfico Normal.- El Tráfico Normal es el resultado que se obtuvo luego del procesamiento de los aforos realizados, es decir, es el volumen vehicular que transita por la carretera en sus condiciones actuales.

Tráfico Futuro.- La estimación del tráfico futuro se hará utilizando el modelo exponencial expresado mediante la siguiente fórmula:

$$T_n = T_i (1 + r)^n$$

Dónde:

T_n = Tránsito en cualquier año n







T_i = Tránsito en el año cero (inicial)

r = Tasa de crecimiento anual del tránsito

El período de vida útil del pavimento son 20 años y la tasa de crecimiento anual del parque automotor ponderada de acuerdo al SEDECA en Tarija es del 6 % y específico sería en: vehículos livianos 5.36%, en vehículos medianos del 5.52% y en vehículos pesados del 7.12%.

A continuación tenemos una tabla con el detalle del crecimiento anual de vehículos durante la vida útil del proyecto en diseño.

TABLA N° 17 PROYECCIÓN DEL TRÁFICO

TRAFICO FUTURO							
AÑO							TOTAL
2012	16	15	7	11	25	4	78
2013	17	16	7	11	27	4	82
2014	18	17	7	12	29	4	87
2015	19	18	8	13	31	5	92
2016	20	18	8	13	33	5	98
2017	21	19	9	14	35	5	104
2018	22	21	9	15	38	6	110
2019	24	22	10	16	41	6	117
2020	25	23	10	17	43	7	124
2021	26	24	11	18	47	7	132
2022	28	25	11	18	50	7	140
2023	29	27	12	20	53	8	148
2024	31	28	12	21	57	9	157
2025	32	30	13	22	61	9	167
2026	34	31	14	23	66	10	177
2027	36	33	14	24	70	11	188
2028	38	35	15	26	75	11	200
2029	40	36	16	27	81	12	212
2030	42	38	17	28	86	13	225
2031	44	40	18	30	93	14	239
TOTAL	562	515	227	377	1040	156	2877
%	19,52	17,91	7,88	13,12	36,16	5,41	100

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III.- DISEÑO GEOMÉTRICO

3.1. DISEÑO GEOMÉTRICO

Se entiende por diseño geométrico de una carretera al proceso de correlacionar sus elementos físicos tales como los alineamientos, pendientes, distancias de visibilidad, peralte, ancho de carril, etc. ; con las características de operación, velocidad, aceleración, condiciones de seguridad, etc.

Los criterios para el diseño geométrico de las carreteras se basan en una extensión matemática racional del diseño del vehículo y de sus características de operación, así como en el uso de los principios de la geometría de la física. Incluyen no solamente cálculos teóricos, sino también los resultados empíricos deducidos de numerosas observaciones y análisis del comportamiento de los conductores, reacciones humanas y capacidad de las carreteras

3.2. DERECHO DE VÍA

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

El derecho de vía o faja afectada consiste en la franja de terreno a cada lado del eje de la vía incluida la berma, es de 50 metros, medida en horizontal y/o perpendicularmente a partir del eje de la carretera.

En nuestro caso contamos con un derecho de vía de 20 metros a partir del eje del camino, debido a que a lo largo del tramo los terrenos adjuntos se encuentran cercados y en algunos casi pegados a las obras de drenaje (cunetas).

3.3. CATEGORÍA DE VÍA

La clasificación de carreteras y caminos está orientada específicamente al diseño.

Categoría de las vías.- La clasificación para diseño consulta seis categorías divididas en dos grupos, ellas son:

- Carreteras: Autopistas, Autorrutas y Primarias
- Caminos: Colectores, Locales y de Desarrollo

Para clasificar una carretera se debe tener en cuenta lo siguiente:

Lugar:	Urbano, Rural
Topografía tipo:	Llano, Ondulado, Montañoso.
Utilización:	Autopista, Carretera General.
Red de Carreteras:	Fundamental, Complementaria, Vecinal.

Las categorías de diseño recomendadas para el trazado de carreteras rurales, se encuentran resumidas en:

TABLA N° 18 CLASIF. FUNCIONAL PARA DIS. DE CARRETERAS Y CAMINOS RURALES

CATEGORÍA		SECCIÓN TRANSVERSAL		VELOCIDAD DE PROYECTO (Km/h)	CÓDIGO TIPO
		N° CARRILES	N° CALZADAS		
AUTOPISTA	0	4 ó UD	2	120 – 100 - 80	A (n) – xx
AUTORRUTA	(I.A)	4 ó UD	2	100 – 90 - 80	AR(n) – xx
		4 ó UD	2 (1)	100 – 90 - 80	P (n) – xx
PRIMARIO	(I.B)	2BD	1	100 – 90 – 80	P (2) – xx
		4 ó UD	2 (1)	80 – 70 – 60	C (n) – xx
COLECTOR	(II)	2BD	1	80 – 70 – 60	C (2) – xx
LOCAL	(III)	2BD	1	70 – 60 – 50 – 40	L (2) – xx
DESARROLLO		2BD	1	50 – 40 – 30*	D – xx

Fuente: Manual y Normas para el diseño geométrico de Carreteras de la ABC

UD: Unidireccionales

BD: Bidireccionales

(n): Número total de carriles

3.4 VELOCIDAD DE PROYECTO

3.4.1. CAMINOS LOCALES (III).-

Son caminos que conectan a los caminos colectores. Están destinados a dar servicio preferentemente a la propiedad adyacente. Tránsitos de mediana y corta distancia, a los

cuales acceden numerosos caminos locales o de desarrollo. Su sección transversal normalmente es de dos carriles bidireccionales, pudiendo llegar a tener calzadas unidireccionales. Las velocidades de proyecto consideradas son:

- Terreno Llano a ondulado medio 70 Km/h
- Terreno ondulado 60 - 50 Km/h
- Terreno montañoso 50 - 40 Km/h

3.5. PARÁMETROS DE DISEÑO EN PLANTA

3.5.1. VELOCIDAD DIRECTRIZ

La velocidad directriz, también llamada velocidad de diseño o velocidad de proyecto es un parámetro que condiciona el diseño geométrico de una carretera tanto en su alineamiento horizontal como en el vertical.

La velocidad de proyecto seleccionada para un proyecto depende fundamentalmente de la función asignada a la carretera, del volumen y composición del tránsito y uno de los principales factores que determinan la elección de la velocidad directriz adecuada para el diseño de un tramo de carretera es el costo de construcción del mismo.

Al encontrarnos en una categoría III, es aconsejable adoptar una velocidad de diseño en un rango de 40 – 70 km/h, por las características de la carretera en un terreno ondulado adoptaremos una velocidad directriz de 50 km/h, el cual representa un valor recomendado por el “Manual para el Diseño de Carreteras” de la Administradora Boliviana de Carreteras.

3.5.2. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE FRENADO

La distancia de visibilidad de frenado debe establecer las condiciones mínimas de visibilidad que debe proporcionar el diseño. Los valores mínimos de la distancia de visibilidad de frenado, son normalmente aplicados para proporcionar visibilidad en intersecciones, bifurcaciones, curvas horizontales y curvas verticales. El cálculo de la distancia mínima de frenado está dado por:

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

Donde

D_f = Distancia mínima de frenado [m].

V = Velocidad directriz [Km./h].

t = Tiempo de percepción y reacción [seg.].

f_1 = Coeficiente de fricción longitudinal entre neumáticos y pavimento mojado.

i = Pendiente longitudinal de la rasante, en metros/metro.

+i Subidas respecto sentido de circulación.

-i Bajadas respecto sentido de circulación.

Las distancias mínimas de frenado en función de la velocidad directriz, están unificadas en el TABLA 19 para rasantes horizontales.

TABLA N° 19 DISTANCIAS MÍNIMAS DE FRENADO EN HORIZONTAL

VELOCIDAD DIRECTRIZ										
[Km/h]	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
DF (m)	25	38	52	70	90	115	145	175	210	250

Fuente: Manual y Normas para el diseño geométrico de Carreteras de la ABC

Los valores de D_f son los adoptados en la tabla.

3.5.3. DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO

Se deduce que la visibilidad de adelantamiento se requiere solo en caminos con carriles para tránsito bidireccional. La línea visual considerada en este caso será aquella determinada por la altura de los ojos de uno de los conductores ($h_1=1,10\text{m}$) en un extremo y la altura de un vehículo ($h_2=1,20\text{ m}$) en el otro. Para simplificar la verificación se considerará que al iniciarse la maniobra todos los vehículos que intervienen se sitúan en el eje del carril de circulación que les corresponde, según el sentido de avance.

A continuación se encuentran los valores mínimos a considerarse en el diseño como visibilidades adecuadas para adelantar.

TABLA N° 20 DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO

VELOCIDAD DE PROYECTO (Km/hr)	DSTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO (metros)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

Fuente: Manual y Normas para el diseño geométrico de Carreteras de la ABC.

3.5.4. RADIOS MÍNIMOS

Los radios mínimos de las curvas son los menores radios que pueden ser recorridos a la velocidad directriz, con el máximo peralte, en condiciones aceptables de seguridad y confort. Los radios mínimos absolutos solo podrán ser empleados al interior de una secuencia de curvas horizontales, cuando están comprendidos dentro del rango aceptable para curvas horizontales consecutivas.

El radio mínimo de la curva circular, calculando con el criterio de seguridad ante el deslizamiento es:

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

$$R_{\min} = \frac{(50 \text{ km/h})^2}{127 \cdot (0.07 + 0.182)}$$

$$R_{\min} = 80 \text{ m}$$

Dónde:

R = radio de la curva, [m].

V = Velocidad directriz, [Km/h]

e = Peralte [m/m]

f = Coeficiente de fricción transversal admisible entre neumático y pavimento.

3.5.5. PERALTE MÁXIMO ADMISIBLE

El peralte máximo admisible que será adoptado esta restringido por los siguientes factores:

- Velocidad directriz y categoría del proyecto.
- Longitud de transición del peralte, primordialmente en el caso de dos curvas sucesivas, de sentido opuesto o en calzadas con varios carriles.
- Condiciones climáticas de la zona en la cual se desarrolla el trazado.

3.5.6. COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL ADMISIBLE

Los coeficientes de fricción transversal entre los neumáticos y el pavimento, son valores determinados experimentalmente, tomando en cuenta las condiciones medias del vehículo, de la calzada y del conductor y pasajeros las cuales son consideradas normales y admisibles.

Los radios mínimos, peralte máximo y coeficiente de fricción transversal de diseño recomendado para el trazado de carreteras rurales, se encuentran resumidas en la siguiente tabla.

TABLA N°21 RADIO MÍNIMO Y PERALTE MÁXIMO

CAMINOS COLECTORES – LOCALES - DESARROLLO			
V_p (Km/h)	e_{máx} (%)	F	R_{mín} (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: Manual y Normas para el diseño geométrico de Carreteras de la ABC.

3.5.7. LÍNEA DE MÁXIMA PENDIENTE

En las curvas horizontales la combinación del peralte con la pendiente longitudinal da origen a una línea de máxima pendiente, equivalente a:

$$q\% = (i\% + e\%) / \sqrt{2}$$

En caminos el valor de q no debe sobrepasar el valor de 11%.

3.5.8. LONGITUD DEL DESARROLLO DEL PERALTE

La longitud requerida para la transición desde el bombeo (-b) al peralte total (+e) o (-e), queda dada por:

$$l = \frac{n * a * \Delta p}{\Delta}$$

Dónde:

l = Longitud del desarrollo del peralte (m)

n = Número de carriles entre el eje de giro del peralte y el borde de la calzada.

a = Ancho normal de un carril (m)

Δp = Variación total de la pendiente transversal para el borde que debe transitar entre (-b) y (+e) o (-e) en caminos bidireccionales.

Δ = Pendiente relativa del Borde de la calzada, respecto de la pendiente longitudinal del eje de la vía (%), cuyos valores normales y máximos se dan en el TABLA N° 22 del Manual de Diseño geométrico de la Administradora Boliviana de Carreteras.

TABLA N° 22 VALORES ADMISIBLES PENDIENTE RELATIVA DE BORDE

Vp (Km/h)	30-50	60-70	80-90	100-120
Δ Normal	0.7	0.6	0.5	0.35
Δ Máx n=1	1.5	1.3	0.9	0.8
Δ Máx n>1	1.5	1.3	0.9	0.8

Fuente: Manual y Normas para el diseño geométrico de Carreteras de la ABC

3.5.9. PENDIENTES MÁXIMAS

La selección de pendientes y sus longitudes aplicables al diseño de un tramo de carretera, depende de las consideraciones técnicas y operativas que correspondan a la categoría de la carretera.

Las pendientes máximas a ser consideradas se presentan en la TABLA N° 23, según la categoría de diseño del tramo de carretera.

TABLA N° 23 PENDIENTES MÁXIMAS EN FUNCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE DISEÑO

CATEGORÍA	VELOCIDAD DE PROYECTO (Km/h)									
	< o = 30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10	10	9	-	-	-	-	-	-	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4.5	-	-
Autorrutas	-	-	-	-	-	6	5	4.5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4.5	-	4

Fuente: Manual y Normas para el diseño geométrico de Carreteras de la ABC.

Siempre se debe procurar utilizar las menores pendientes compatibles con la topografía en que se emplaza el trazado.

3.5.10. PENDIENTES MÍNIMAS

Es deseable proveer una pendiente mínima del 0.5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales. Según el Manual de Diseño de Carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras se distinguirán dos casos:

- Si la calzada posee un bombeo o inclinación transversal de 2% y no existen soleras o cunetas, se podrá excepcionalmente aceptar sectores con pendientes longitudinales de hasta 0,2%. Si el bombeo es de 2,5% excepcionalmente se podrán aceptar pendientes longitudinales iguales a 0.
- Si al borde del pavimento existen soleras la pendiente longitudinal mínima deseable será de 0,5 % y mínima absoluta 0,35%.
- En zonas de transición de peralte en que la pendiente transversal se anula, la pendiente longitudinal mínima deberá ser de 0,5% y en lo posible mayor.

3.5.11. ANCHO DE CALZADA Y PLATAFORMA

El ancho de calzada y plataforma están dados en función de la categoría de la vía y la velocidad de proyecto que corresponde, en caminos locales con velocidad de proyecto menor a 50 Km/h la Administradora Boliviana de Carreteras autoriza anchos de carril menores a 3.5 m.

TABLA N° 24 RESUMEN DE ANCHOS DE PLATAFORMA EN TERRAPLÉN Y DE SUS ELEMENTOS A NIVEL DE RASANTE

N° DE CALZADAS Y CATEGORÍA		VEL. PROYECTO (Km/h)	ANCHO PISTAS "a" (m) (1)	ANCHO BERMAS (m)	
				"b _i " INTERIOR (m)	"b _e " EXTERIOR (m)
CALZADA BIDIRECCIONAL	LOCAL	70	3.5	-	1.0 - 1.5
		60	3.0 - 3.5	-	0.5 - 1.0
		50	3.0 - 3.5	-	0.5 - 1.0
		40	3.0	-	0.0 - 0.5

Fuente: Manual y Normas para el diseño geométrico de Carreteras de la ABC.

3.5.12. ANCHO DE CARRIL

El ancho de carril que utilizaremos será 3,5 metros puesto que nuestro camino no es muy transitado y su velocidad de proyecto es 50 km/h para caminos locales.

3.5.13. BOMBEOS

El bombeo para nuestra calzada será de 2%, contempla el punto más alto en el centro de la calzada y una sección transversal con vertiente a dos aguas.

TABLA N° 25 BOMBEOS DE LA CALZADA

TIPO DE SUPERFICIE	PENDIENTE TRANSVERSAL	
	(I 10) ≤ 15 mm/h *1	(I 10) ≥ 15 mm/h *1
PAV. DE HORMIGÓN O ASFALTO	2	2.5
TRATAMIENTO SUPERFICIAL.	3,0 *2	3.5
TIERRA GRAVA CHANCADO	3,0 - 3,5 *2	3,5 - 4,0

Fuente: Manual y normas de diseño geométrico de Carreteras ABC

3.5.14. ANCHO DE BERMA

Las Bermas son las franjas que flanquean el pavimento de la calzada. Las bermas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial o simplemente ser una prolongación de la capa de grava.

Los anchos de berma en Caminos Locales con $V_p = 50$ Km/h es de 0,5 - 1 metros. Estos valores pueden variar puesto que para caminos locales y de desarrollo las bermas se definen en función al tránsito y a la dificultad del emplazamiento.

El ancho de bermas para el proyecto será de 0.5 m a cada lado de la calzada.

3.6. GEOMETRÍA EN PLANTA

3.6.1. ALINEAMIENTO HORIZONTAL

Los elementos geométricos de una carretera deben estar convenientemente relacionados, para garantizar una operación segura, a una velocidad de operación continua y acorde con las condiciones generales de la vía.

Esto se logra haciendo que el proyecto sea gobernado por un adecuado valor de velocidad de diseño, y sobre todo estableciendo relaciones cómodas entre este valor, la curvatura y el peralte.

Se puede considerar entonces que el diseño geométrico propiamente dicho se inicia cuando se define, dentro de criterios técnico-económicos, una velocidad de diseño para el caso.

El alineamiento horizontal está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares, y curvas de grado de curvatura variable que permiten una transición suave al pasar de alineamientos rectos a curvas circulares o viceversa o también entre dos curvas circulares de curvatura diferente.

3.6.2.1. TIPOS DE CURVAS Y SUS ELEMENTOS

El alineamiento horizontal de un camino, consiste en una serie de tramos llamados tangentes, conectados por curvas circulares.

3.6.2.2. CURVAS SIMPLES

En el diseño de enlace de tangentes las curvas circulares simples son las que se utilizan frecuentemente cuando los espacios son reducidos en un punto inicial y otro, no siendo lo más recomendable desde el punto de vista geométrico y operacional de los vehículos pero si en forma práctica en apertura de carreteras es conveniente su uso, porque requieren menores espacios lo cual origina menores movimientos de tierra y mayor facilidad en su replanteo.

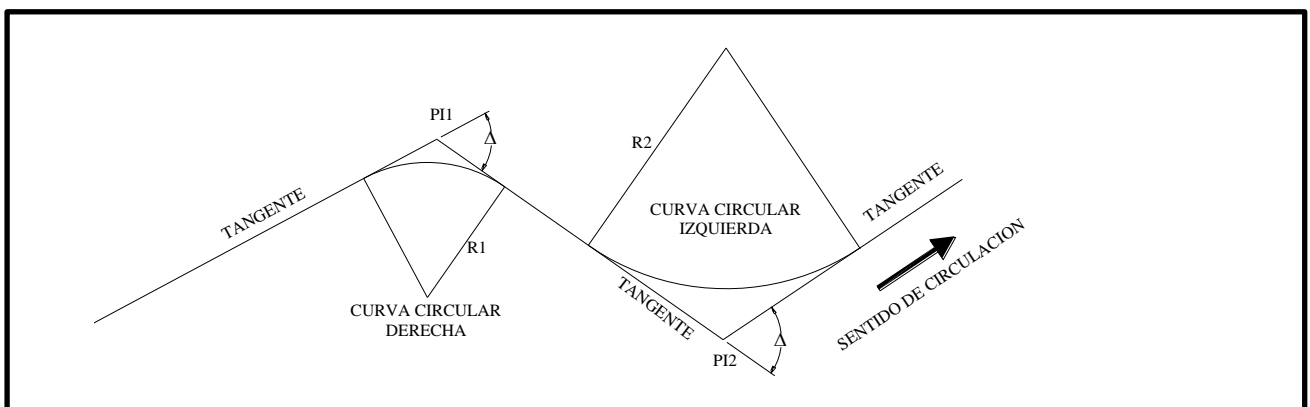
Una curva circular simple estará diseñada a partir de dos elementos fundamentales que son el ángulo de deflexión o el ángulo interno entre las tangentes y el radio de curvatura que vienen por la geometría del trazado definitivo y por especificaciones técnicas respectivas.

3.6.2.2.1. CRITERIOS DE DISEÑO

Para evitar el diseño geométrico que presenta vías inseguras e incómodas se deben usar los siguientes criterios generales:

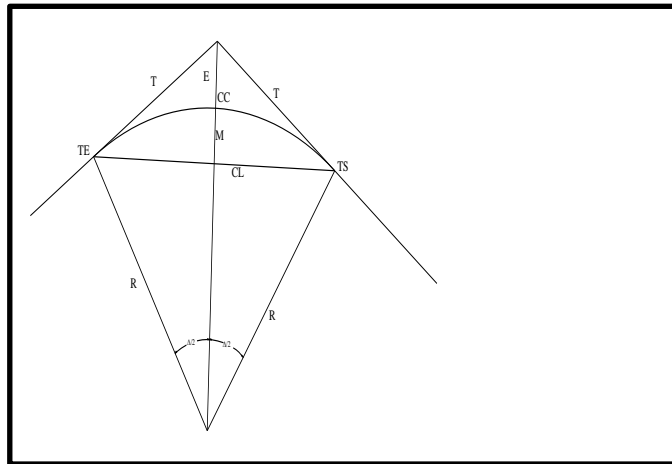
- El alineamiento debe ser tan directo como sea posible, ser consistente a los contornos de topografía que siguen una línea de ceros, de acuerdo con la línea de pendiente seleccionada.
- En un proyecto geométrico con velocidad de diseño especificada, se debe procurar establecer curvas con velocidad específica no muy superior a la velocidad de diseño.
- En general el ángulo de deflexión para cada curva debe ser tan pequeño como sea posible, en la medida que las condiciones topográficas lo permitan, teniendo en cuenta que las carreteras deben ser tan directas como sea posible.

FIGURA N° 5 CURVAS SIMPLES



Los elementos de una curva circular simple son:

FIGURA N° 6 ELEMENTOS DE UNA CURVA CIRCULAR SIMPLE



Dónde:

- TE: Punto de la tangente de entrada.
- TS: Punto de la tangente de salida.
- PI: Punto de intersección de las tangentes.
- D: Angulo de deflexión.
- T: Semitangente.
- L: Largo del arco circular.
- CL: Cuerda larga.
- CC: Punto medio de la curva.
- E: Externa.
- M: Ordenada media.
- Gcb: Grado de curvatura según la cuerda base.
- Gab: Grado de curvatura según el arco base.

Sus respectivas fórmulas son:

Tangente:

$$T = R \cdot \tan \frac{\Delta}{2}$$

Externa:

$$E = R \cdot \left[\sec \left(\frac{\Delta}{2} \right) - 1 \right]$$

Cuerda Larga:

$$CL = 2R \cdot \operatorname{sen} \left(\frac{\Delta}{2} \right)$$

Ordenada Media:

$$M = R \cdot \left[1 - \cos \left(\frac{\Delta}{2} \right) \right]$$

Largo del arco circular:

$$L = \frac{\pi \cdot R \cdot \Delta}{180}$$

Largo de la curvatura según la cuerda base:

$$G_{cb} = 2 \operatorname{Arcsen} \left(\frac{Cb}{2R} \right)$$

Es importante que en el diseño de cada curva circular simple esté determinada por todos sus elementos, los cuales proporcionarán información suficiente para el replanteo. El replanteo de este tipo de curvas consiste en trazar una curva horizontal en el terreno a partir del diseño que está en el plano, es decir encontrar todos los puntos necesarios para conformar la curva circular simple.

Los resultados obtenidos para cada una de las curvas del diseño geométrico del camino se presentaran en el **Anexo 5**, los cuales serán calculados utilizando las fórmulas anteriores.

TABLA N° 26 RESUMEN DE CURVAS HORIZONTALES

N°	INICIO DE CURVA	FIN DE CURVA	LONGITUD DE CURVA (m)	RADIO DE CURVATURA (m)	DIRECCION
1	0+004,80	0+070,70	65,9	80	Derecha
2	0+186,43	0+232,77	46,34	134,23	Izquierda
3	0+248,22	0+326,18	124,30	112,61	Izquierda
4	0+547,04	0+640,33	93,29	89,70	Derecha
5	1+003,42	1+058,15	54,73	89,70	Izquierda
6	1+374,54	1+475,34	100,80	89,71	Derecha
7	1+825,36	1+889,75	64,39	155,36	Derecha
8	2+012,50	2+112,17	99,67	312,14	Izquierda
9	2+805,49	2+886,12	80,63	89,71	Izquierda
10	3+395,99	3+413,22	17,23	89,71	Derecha
11	3+469,88	3+523,05	53,17	89,7	Derecha
12	3+978,60	4+014,86	36,26	123,93	Izquierda
13	4+066,58	4+136,88	70,30	144,59	Izquierda
14	4+358,40	4+409,10	50,70	115,24	Derecha
15	4+448,01	4+520,78	72,77	89,71	Derecha
16	5+445,93	5+476,03	30,10	101,27	Izquierda
17	5+491,91	5+605,48	113,57	150,42	Izquierda
18	5+981,97	6+023,10	41,13	101,27	Derecha
19	6+211,90	6+222,43	10,53	101,27	Derecha
20	6+432,59	6+473,24	40,65	101,27	Derecha
21	6+929,73	6+946,06	16,33	101,27	Derecha
22	7+137,63	7+181,46	43,83	101,27	Derecha
23	7+636,35	7+736,21	99,86	168,37	Izquierda
24	8+261,36	8+416,65	155,29	278,34	Izquierda
25	8+741,23	8+785,05	43,82	101,27	Derecha
26	8+813,33	8+881,09	67,76	129,04	Derecha
27	9+321,23	9+403,40	82,17	152,45	Derecha

Fuente: Elaboración propia

3.7. GEOMETRÍA EN PERFIL

3.7.1. ALINEAMIENTO VERTICAL RASANTE

El alineamiento vertical está formado por la rasante, constituida por una serie de rectas enlazadas por arcos verticales parabólicos, a los cuales dichas rectas son tangentes.

La inclinación de la rasante depende principalmente de la topografía de la zona que atraviesa, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en rampas.

El detalle del alineamiento vertical se presenta en el **Anexo 6**.

3.7.2. PENDIENTE GOBERNADORA¹

La pendiente gobernadora es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea de subrasante para vencer un desnivel determinado, en función de las características del tránsito y la configuración del terreno; la mejor pendiente gobernadora para cada caso, será aquella que al conjugar estos conceptos, permita obtener el menor costo de construcción, conservación y operación. Sirve de guía a la serie de pendientes que se deban proyectar para ajustarse en lo posible al terreno.

La línea de pelo se genera en base a una pendiente gobernadora. La pendiente gobernadora del presente proyecto está dada en función de la categoría de la vía y su valor es 8%.

3.7.3. CURVAS VERTICALES

Las curvas verticales son las que permiten el enlace de la línea subrasante a lo largo de la carretera. Las curvas verticales usadas en carreteras como curvas de enlace de los alineamientos rectos longitudinales, pueden ser arcos de círculo, arcos de parábola, de parábola cúbica, etc.

¹ Diseño Final tramo Bella Vista – Misca Caldera (Autor: Edwin Yucra S.)

3.7.3.1. CRITERIOS DE DISEÑO PARA CURVAS VERTICALES

- Las curvas verticales deben asegurar en todo punto del camino la Visibilidad de Frenado, ya sea que se trate de calzadas bidireccionales o unidireccionales.
- En calzadas bidireccionales, si la condiciones lo permiten, el proyectista podrá diseñar curvas de enlace por criterio de visibilidad de adelantamiento, con lo que se asegura sobradamente la visibilidad de frenado.
- El cálculo de curvas verticales presenta dos situaciones posibles, a saber:

$$D_v < 2T$$

$$D_v > 2T$$

- La presente norma considera como situación general el caso $D_v < 2T$ ya que: representa el caso más corriente, implica diseños más seguros y la longitud de curva de enlace resultante de $D_v > 2T$, normalmente debe ser aumentada por criterio de comodidad y estética.

3.7.3.2. LONGITUD MÍNIMA

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

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

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

La distancia mínima en curvas verticales es aquella longitud necesaria que debe tener una curva vertical, que dé seguridad a la circulación de dos vehículos en sentido contrario.

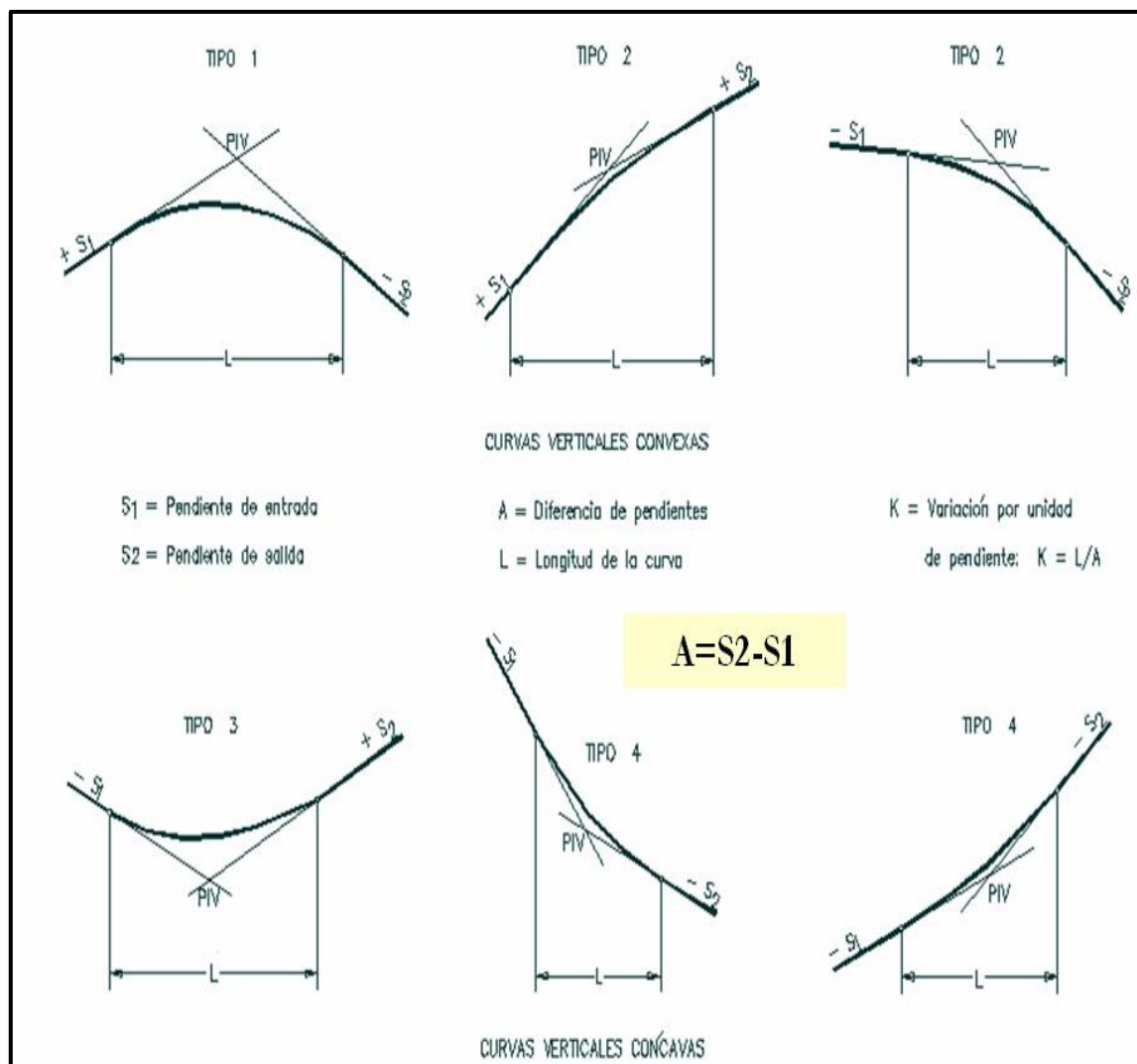
La longitud requerida para detener un vehículo es la suma de dos distancias:

- Distancia recorrida por un vehículo desde el momento en que se hace visible por el obstáculo hasta el instante en que se aplica los frenos.
- Distancia recorrida por el vehículo luego de aplicados los frenos y hasta el momento en que se detiene totalmente.

3.7.4. TIPOS DE CURVAS Y SUS ELEMENTOS

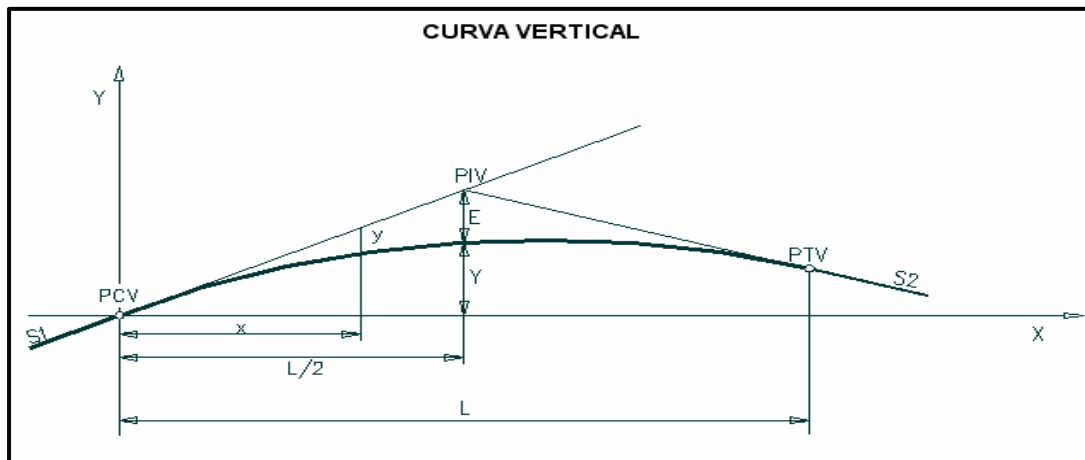
Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Deben dar por resultado una vía de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas.

FIGURA N° 7 TIPOS DE CURVAS VERTICALES



En la siguiente figura podemos ver los elementos de una curva vertical:

FIGURA N° 8 ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL



Dónde:

L = longitud de la curva vertical, medida por su proyección horizontal.

S_1 = Pendiente de la tangente de entrada (%).

S_2 = Pendiente de la tangente de salida. (%)

A = Diferencia algebraica de pendientes, $A = |S_1 - S_2|$

E = Externa, ordenada vertical desde el punto PIV a la curva, $E = \frac{A}{200 \cdot L} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2$

X = Distancia horizontal a cualquier punto de la curva desde el PCV o el PTV.

Y = Ordenada vertical en cualquier punto: $Y = \frac{A}{200 \cdot L} \cdot X^2$

Esta ordenada $COTAx = COTA_{PCV} + \frac{S_1 X}{100} \pm Y$ angentes en las curvas verticales tipo 1 y 2, y se les suma a las de tipo 3 y 4.

PCV = Principio de la curva vertical

PIV = Punto de intersección de las tangentes verticales.

PTV = Terminación de la curva vertical.

A continuación se presenta un resumen de las curvas verticales.

TABLA N° 27 RESUMEN DE CURVAS VERTICALES

N°	INICIO DE CURVA	FIN DE CURVA	LONG. DE CURVA (m)	TIPO DE CURVA
1	0+092,97	0+128.91	35,94	Convexa
2	0+306,77	0+358.76	51,99	Cóncava
3	0+480,46	0+538.64	58,18	Convexa
4	0+802,42	0+894.09	91,66	Cóncava
5	1+117,81	1+133.27	15,45	Convexa
6	1+517,66	1+561.81	44,15	Convexa
7	1+708,03	1+747.62	39,59	Cóncava
8	1+828,71	1+899.37	70,66	Cóncava
9	2+026,93	2+054.71	27,78	Convexa
10	2+360,52	2+408.37	47,85	Cóncava
11	2+567,28	2+607.87	40,59	Cóncava
12	2+692,99	2+727.68	34,69	Convexa
13	3+287,62	3+301.12	13,51	Convexa
14	3+745,44	3+795.83	50,38	Cóncava
15	4+084,15	4+120.67	36,51	Convexa
16	4+228,20	4+275.78	47,58	Cóncava
17	4+435,07	4+460.48	25,41	Convexa
18	4+571,60	4+612.92	41,31	Cóncava
19	4+875,73	4+946.76	71,02	Cóncava
20	5+026,70	5+069.46	42,76	Convexa
21	5+137,10	5+206.09	68,99	Cóncava
22	5+310,20	5+374.67	64,46	Convexa
23	5+463,35	5+509.56	46,20	Cóncava
24	5+639,63	5+676.64	37,00	Cóncava
25	5+855,17	5+867.86	12,70	Convexa
26	6+105,88	6+147.50	41,62	Cóncava
27	6+279,36	6+341.95	65,59	Convexa
28	6+396,42	6+478.16	81,74	Cóncava
29	6+570,35	6+596.60	26,24	Convexa
30	6+752,55	6+812.55	60,00	Cóncava
31	7+137,97	7+177.24	39,27	Convexa
32	7+357,57	7+412.15	54,57	Cóncava
33	7+551,72	7+578.35	26,63	Convexa
34	7+998,47	8+043.30	44,83	Cóncava
35	8+547,70	8+582.63	34,92	Convexa
36	8+792,74	8+873.03	80,28	Cóncava
37	8+936,52	9+026.09	89,57	Cóncava
38	9+309,37	9+343.06	33,68	Convexa

Fuente: Elaboración propia

3.7.5. MOVIMIENTO DE TIERRAS

3.7.5.1. INTRODUCCIÓN

Un factor que influye significativamente en el trazado de una vía es el terreno, es el trazado de la rasante consideramos principalmente el movimiento de tierras, lo mejor es trazar la rasante lo más cerca posible al nivel natural del terreno.

Para determinar el volumen de movimiento de tierra que interviene para una rasante dada, se toman perfiles transversales a intervalos regulares a lo largo de la rasante.

Definimos al perfil transversal como las características de la superficie del terreno transversalmente al eje definitivo de la carretera. Este perfil transversal puede ser obtenido en campo o en gabinete.

3.7.5.2. SECCIONES TRANSVERSALES

La sección transversal por definición son las características de una carretera terminada, donde los componentes más usuales son:

- a) Calzada
- b) Bermas
- c) Taludes de corte y relleno
- d) Cunetas
- e) Pendiente transversal

3.5.7.2.1. CALZADA

Es el ancho de la sección que corresponde a la circulación vehicular, está compuesta por los carriles en ambos sentidos. La definición denominada número de carriles que van a componer la calzada están en función de factores de volumen de tráfico, nivel de servicio y lo económico. El ancho de carril debe establecerse en función de las normas de diseño existentes, las condiciones económicas y las condiciones de servicio que se le quiere dar a la carretera.

La Administradora Boliviana de Carreteras establece como ancho de carril mínimo de diseño 3.5 metros, pero dependiendo de la categoría de la vía y el nivel de servicio este valor puede variar.

3.5.7.2.2. BERMAS

Las bermas o alargamientos laterales cuyo espacio está definido entre el borde de la calzada y el borde del talud es un espacio para el uso de estacionamiento temporarios de vehículos que circulan por la carretera con el propósito de que no se vea afectada la capacidad de la misma.

Geométricamente la berma es una continuación de la calzada pero al no tener las mismas condiciones del servicio al tráfico en la mayoría de los casos las bermas tienen condiciones estructurales diferentes, es decir que su conformación obedece a materiales inferiores normalmente no revestido por cuya causa se cambia de pendiente transversal de 0.50 a 1.00 menor a la pendiente transversal de la calzada para que el escurrimiento superficial hacia las cunetas sea más rápido.

3.5.7.2.3. TALUDES DE CORTE Y DE RELLENO

La constitución de la sección transversal del camino nos obliga de acuerdo a las características del terreno natural a tener taludes de corte y relleno. Los taludes de corte que se ejecutan con maquinaria pesada pueden tener una inclinación en función del tipo de material que se va a cortar, las relaciones de talud más utilizadas son 1:1.5; 1:2; 1:2.5; 1:3 y 1:4. En cuanto a los taludes de relleno son más bien una consecuencia constructiva porque de acuerdo al material que se va a utilizar para el relleno este tendrá una inclinación natural y como en la mayoría de las carreteras los terraplenes se ejecutan con material granular, cuyo ángulo es 45° y la relación de taludes más utilizada es 1:1, pudiendo usarse 1:1.5; 1:2 en casos donde la inclinación del talud por las características del terreno nos produzcan grandes volúmenes queriendo reducir estos se modifican los taludes pero aumentando muros de contención.

3.5.7.2.4. PENDIENTE TRANSVERSAL

En la conformación de la sección transversal es necesario definir una pendiente transversal tanto para la calzada como para las bermas; la pendiente transversal está en función al tipo de rodadura que va a tener la calzada.

- Rodadura de ripio 3 - 4 %
- Rodadura de pavimento flexible (asfalto) 2 %
- Rodadura de pavimento rígido (losa H°) 1.5 %

El objetivo de la pendiente es permitir el encauzamiento de las aguas superficiales que caen a la calzada hacia las cunetas laterales.

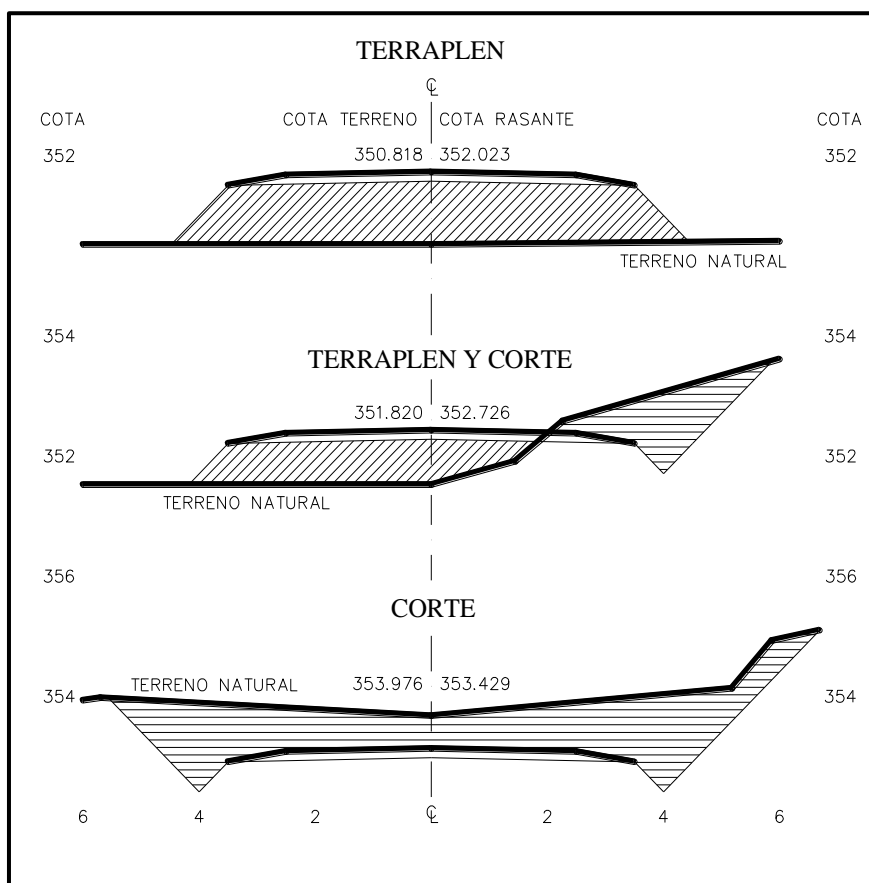
3.5.7.2.5. CUNETAS

Las cunetas son elementos de drenaje que también forman parte de las secciones transversales cuyas dimensiones geométricas dependen de dos aspectos.

- **Aspecto hidrológico hidráulico:** que nos permitirá el diseño de una sección hidráulicamente necesaria para absorber el caudal de precipitación que puedan presentarse en los tiempos de concentración más críticos.
- **Aspecto constructivo:** que permita por facilidad constructiva tener una sección que sin afectar las condiciones hidráulicas puedan facilitar el rendimiento constructivo.

3.5.7.2.6. TIPOS DE SECCIÓN TRANSVERSAL

FIGURA N° 9 TIPOS DE SECCIONES TRANSVERSAL



3.5.7.3. CÁLCULO DE ÁREAS Y VOLÚMENES

3.5.7.3.1. CÁLCULO DE ÁREAS

Con las secciones transversales definidas tanto en los tramos rectos como en los curvos se procede al cálculo de las áreas; con el avance tecnológico, hoy en día para determinar el área de las secciones transversales, se utilizan técnicas de computador, como por ejemplo el Autocad, pero también existen varios métodos manuales, que eventualmente también son usados y que son la base analítica de las técnicas computacionales, habiendo las siguientes metodologías:

Método del planímetro

En este caso la sección transversal debe estar dibujada a una sola escala de manera que se pueda recorrer su contorno con el planímetro.

Método de las figuras geométricas

La sección transversal se divide en figuras geométricas conocidas; generalmente triángulos, rectángulos y trapecios, para así calcular el área de cada una de ellas separadamente y luego realizar la sumatoria para encontrar el área total de la sección transversal analizada.

Método de las coordenadas de los vértices

Se utiliza un sistema de coordenadas (x,y) , de origen la cota roja en el eje de la vía, para la cual las coordenadas de los vértices son: $(0,0)$, después se organizan todas las coordenadas de los vértices de tal manera que la suma de los productos y por x de las líneas continuas, menos la suma de los productos y por x de las líneas discontinuas, arrojan el doble del área, que sería $2A$.

3.5.7.3.2. CÁLCULO DE VOLÚMENES

Una vez calculadas las áreas de las secciones transversales por cualquiera de los métodos anteriores se procede al cálculo del volumen de los prismoides, en el mismo que pueden existir dos condiciones que son:

- Cubicación en vía recta.
- Cubicación en vía curva.

3.5.7.3.2.1. CUBICACIÓN EN VÍA RECTA

Uno de los ítems más importantes para la ejecución de carreteras es el movimiento de tierras que resulta ser aquel necesario para conformar el terreno a las condiciones del diseño. Por esta razón es indispensable realizar el cálculo de volúmenes. Para el cálculo de volúmenes se tienen determinando varios casos entre los cuales tenemos:

a) CORTE – CORTE

$$V_C = \frac{(A_1 + A_2) \cdot L}{2}$$

b) RELLENO – RELLENO

$$V_R = \frac{(A_1 + A_2) \cdot L}{2}$$

c) RELLENO – CORTE Y CORTE – RELLENO

$$V_C = \frac{A_1 \cdot l_1}{2} \quad l_1 = \frac{A_1 \cdot L}{A_1 + A_2} \quad V_R = \frac{A_2 \cdot l_2}{2} \quad l_2 = \frac{A_2 \cdot L}{A_1 + A_2}$$

3.5.7.3.2.2. CUBICACIÓN EN VÍA CURVA

La cubicación en vía curva a diferencia de la cubicación en vía recta debe considerar el hecho de que dos secciones transversales inmediatas no son paralelas entre sí, es decir que el volumen entre dos secciones en vía curva será igual al volumen en vía recta más o menos un factor de corrección, que se denomina corrección por curvatura.

$$V_{CURVA} = V_{RECTA} + C_C$$

El coeficiente de corrección de curvatura que nos permite determinar el volumen en vía curva, tiene la siguiente relación:

$$C_C = \frac{l}{2 \cdot R} \cdot (A_1 \cdot e_1 + A_2 \cdot e_2)$$

a) CORTE – CORTE

$$C_c = \frac{l}{2 * R} * \left(A_1 * \frac{1}{3} * (d_{d1} + d_{i1}) + A_2 * \frac{1}{3} * (d_{d2} + d_{i2}) \right)$$

b) RELLENO – RELLENO

$$C_c = \frac{l}{2 * R} * \left(A_1 * \frac{1}{3} * (d_{d1} + d_{i1}) + A_2 * \frac{1}{3} * (d_{d2} + d_{i2}) \right)$$

c) CASO DE LADERAS

$$A_1 = \frac{1}{2} * \left(\frac{a}{2} + x_1 \right) * y_i \quad e_1 = \frac{1}{3} * \left(x_1 - \frac{a}{2} + d_i \right)$$

Los volúmenes fueron calculados con el método de los prismoides con corrección de curva. Los resultados del cálculo de volúmenes con corrección en curva se presentarán en el **Anexo VII**.

TABLA N° 28 RESULTADO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

Estación	Área	Volumen	Vol. Total	D. Masa	Área [m ²]	Volumen
	[m ²]	[m ³]	[m ³]	Ordenada	[m ²]	[m ³]
	Corte	Terraplén	Corte	Terraplén	Corte	Terraplén
0+000	0	2.83				
9+560	84.73	0	14520	0	58367.611	27490.64

Fuente: Elaboración propia.

3.5.7.3.3. DIAGRAMA DE MASAS

El diagrama de la curva masa es una serie de líneas unidas que describen la acumulación neta de corte o de relleno, entre dos perfiles transversales cualesquiera. La ordenada de la curva del diagrama masa es la acumulación neta en m³ desde un punto inicial arbitrario. Entonces la diferencia de ordenadas entre dos perfiles transversales cualesquiera representa la acumulación neta de corte o relleno entre estos dos perfiles transversales. Después de calculadas las áreas y volúmenes de los prismoides, se realiza una tabulación de todos los valores obtenidos en el cálculo de volúmenes considerando que los valores de cortes van hacia arriba y los de relleno hacia abajo, la curva resultante es llamada perfil de cortes y

rellenos. Este perfil es muy similar al perfil longitudinal de la carretera, por lo que a veces se omite su dibujo. Si los valores de los volúmenes acumulados son llevados como ordenadas en las abscisas correspondientes a la posición de las estaciones, la curva obtenida es el diagrama de masas.

En resumen, el perfil de cortes y rellenos concentra los volúmenes parciales de cada prismoide en el centro entre cada dos estaciones; en tanto que en el diagrama de masas, los volúmenes acumulados que se colocan como ordenadas al final de la estación.

El diagrama de masas es el resultado del movimiento de tierras de un proyecto, este diagrama de masas esta graficado en función de los volúmenes acumulados entre todas las secciones transversales (recta y curva). Se dispondrá de los volúmenes de corte y de relleno en todo el alineamiento. Como los materiales sufren un esponjamiento o contracción cuando son de corte o relleno respectivamente debe realizarse una conversión en los materiales que puedan hacerse en función de los volúmenes de corte o de los volúmenes de relleno.

3.6. DISEÑO HIDRÁULICO DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE

El diseño y la construcción de las obras de arte y drenaje son importantes para garantizar la estabilidad e integridad del camino. Por la falta de estructuras de drenaje en el camino se prevé construir, alcantarillas y cunetas conforme al relevamiento efectuado en el tramo del camino.

3.6.1. DISEÑO DE OBRAS DE ARTE MAYOR. PUENTE

Los puentes son obras de arte destinadas a salvar depresiones del terreno, pasos sobre corrientes de agua o cruces a desnivel permitiendo la circulación ininterrumpida de peatones, vehículos, agua y otros. Se distinguen las siguientes partes constitutivas de un puente: La superestructura y la infraestructura.

Los datos necesarios para el proyecto de un puente son tres ítems fundamentales en los que se resume el diseño de un puente:

- **Topografía:** Comprende el plano de ubicación , planimetría con curvas de nivel a cada metro, secciones transversales en el eje propuesto, así como otras secciones situadas entre 10 y 20 m unas aguas arriba y otras aguas abajo.
- **Hidrología:** Debe incluir la media anual, las crecientes máximas y mínimas, la velocidad de la corriente, el caudal, las variaciones climáticas y materiales de arrastre.

El diseño del puente mencionado no forma parte del proyecto, solo serán planteadas sus características geométricas para emplazarlo en el plano.

3.6.1.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

3.6.1.1.1. LONGITUD

Para tramos simplemente apoyados, la luz de cálculo es la distancia de centro a centro de los apoyos, pero no debe ser mayor a la luz libre más el espesor de la losa. La longitud del puente estará definida por la topografía del terreno y el alineamiento horizontal y vertical del camino. En el tramo en estudio (CRUCE RUTA F-11 – CRUCE RUTA F-1) consideramos el diseño de un puente de 30 metros que comienza en la progresiva 8 + 930 y termina en la progresiva 8+ 960.

3.6.1.1.2. ANCHO DE CALZADA

El ancho de carril de un puente para caminos vecinales recomendado por Norma es de 4 metros, dándonos un ancho de calzada de un total de 9 metros.

3.6.2. DISEÑO DE OBRAS DE ARTE MENOR ELEMENTOS DE DRENAJE.

3.6.2.1. ALCANTARILLAS

El drenaje transversal de una carretera se consigue mediante alcantarillas cuyo objetivo es resguardar la estructura de la carretera ante la presencia de agua, proveniente de cunetas, quebradas o ríos transversales al eje de la carretera.

3.6.2.1.1. FUNCIÓN DE LAS ALCANTARILLAS

Sirve para la evacuación transversal de las aguas provenientes de:

- Las cunetas.
- Terrenos adyacentes
- Arroyos permanentes.

3.6.2.1.2. TIPOS DE ALCANTARILLAS SEGÚN FUNCIÓN

3.6.2.1.2.1. ALCANTARILLAS DE CRUCE

Son obras de drenaje en una carretera cuyo objetivo es resguardar la estructura de la carretera ante la presencia de una quebrada o río transversal al eje de la carretera.

Normalmente este tipo de obras deberán ir ubicada transversalmente a la carretera hasta un esviajamiento con el eje del río o quebrada de 5°, si este es mayor a 5° se recomienda que la obra sea colocada en forma esviajada.

En el tramo a diseñarse consideramos que no es necesario el diseño de alcantarillas de cruce debido a que no existe ninguna quebrada o río que atraviese transversalmente el camino.

3.6.2.1.2.2. ALCANTARILLAS DE ALIVIO

Son aquellas obras de drenaje cuyo objetivo principal es poder desahogar el caudal de las cunetas que vienen longitudinalmente al camino, para aquello se requiere captar el caudal

en una cámara y transpórtalo al lado opuesto al camino a través de una tubería. Estarán ubicadas cada cierto tramo de la carretera de manera que eviten el llenado excesivo de la sección de las cunetas, como una regla general o recomendable se dice que deben ir cada 100 m. Sin embargo en un proyecto se tendrá que ver las condiciones económicas (disponibilidad) y las condiciones técnicas principalmente (topografía, pendiente, tipo de suelo) para en definitiva determinar la ubicación o separación entre cámaras.

Las alcantarillas de alivio obligadamente deberán ubicarse en los puntos más bajos de acuerdo al diseño geométrico.

Se diseñan tanto en su emplazamiento geométrico determinando su ubicación longitudinal y su posición altimétrica dentro de la obra; respecto al diseño hidráulico se debe diseñar el diámetro del tubo de la alcantarilla de alivio a partir de la ecuación racional:

$$Q = C \times i \times A$$

El coeficiente de escorrentía puede ser un valor ponderado por el coeficiente de escorrentía de la superficie de rodadura de la carretera y el coeficiente correspondiente al resto del área de aporte. El área de aporte estará dada en función a la separación entre alcantarillas de alivio (L) y el ancho medio del derecho de vía.

La intensidad de precipitación será la misma que se use en el diseño de las cunetas obtenida en base al estudio hidrológico, precipitaciones diarias máximas, tiempos de concentración y periodos de retorno.

Una vez determinado el caudal se hará uso de la ecuación de Manning:

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

Al ser la única incógnita el diámetro del tubo por iteración se encontrará el diámetro necesario para soportar el caudal. En la práctica puede no ser un diámetro comercial por lo que deberá adoptarse uno cuyo valor sea el más próximo al de diseño pero superior.

La alcantarilla de alivio en general está constituida por la cámara de ingreso y el tubo.

En el tramo a diseñarse vemos previsto colocar alcantarillas de alivio de sección tubular.

3.6.2.1.3. TIPO DE ALCANTARILLAS SEGÚN SU SECCIÓN

3.6.2.1.3.1. ALCANTARILLAS TIPO CAJÓN

Las alcantarillas de cajón son otro tipo de alcantarillas cuya utilización se recomienda cuando las secciones o áreas hidráulicas dadas por un tipo de tubería se hacen insuficientes, en tal caso se busca una sección rectangular que satisfaga el área hidráulica necesaria.

Están conformadas por una base que puede ser de zampeado de piedra u hormigón pobre, dos paredes laterales de hormigón simple u hormigón ciclópeo cuyo hormigón debe ser suficiente para resistir los esfuerzos de apoyo de la losa superior, finalmente se tiene una losa de hormigón armado que puede servir a su vez como superficie de rodadura o en su caso soportar sobre ella un terraplén de relleno hasta el nivel de subrasante.

3.6.2.1.3.2. ALCANTARILLAS DE TUBO

Son aquellas que están recomendadas cuando las secciones del área hidráulica son relativamente pequeñas y cuando el arrastre de los ríos o quebradas no tenga palizada y piedras, aunque es posible utilizar alcantarillas de tubo de cemento (armado con malla) no ha dado resultados en la práctica siendo los de mayor uso los tubos de fierro corrugado de la marca ARMCO cuyas características han resultado ser las más adecuadas a nuestro medio, dentro de este tipo de alcantarillas existen varias dimensiones.

La ventaja es su durabilidad, su resistencia a la corrosión, su facilidad en el armado y en el traslado ya que tienen piezas relativamente pequeñas que pueden ser manipulables.

Muros de cabezal

Son obras complementarias a una alcantarilla (principalmente en las de tubo) tiene como objetivo servir para el encauzamiento de la quebrada o río a la entrada de la alcantarilla, además de servir como muro de sostenimiento del relleno o terraplén sobre la alcantarilla hasta el nivel de subrasante.

Los muros de cabezal son estructuras que pueden estar construidas de hormigón ciclópeo o mampostería de piedra, generalmente está compuesto de un muro frontal y dos aleros, las

dimensiones de este muro de cabeza se recomiendan: Para el muro frontal de 2 a 4 ϕ y para los aleros una dimensión de 2 ϕ mínimos.

En cuanto a las dimensiones del muro en su cuerpo, éstos deberán dimensionarse siguiendo la misma metodología de los muros de contención donde la variable fundamental es encontrar esfuerzos a los que va a estar sometido el muro y con ella determinar el momento de empuje. Las dimensiones deberán dar un momento resistente mayor al momento de empuje con un coeficiente de seguridad al vuelco mayor a 2 y un coeficiente de seguridad al deslizamiento mayor a 1.5.

La alcantarilla circular o de tubo es una de las más usadas y resiste en forma satisfactoria a las cargas a la que es sometida. Existen diferentes tipos de tubos circulares que se utilizan con el propósito mencionado. El diámetro para caminos locales o de desarrollo deberá ser como mínimo de 80 centímetros.

De acuerdo al estudio realizado se ha visto por conveniente implementar alcantarillas de 800 mm de diámetro, por las probabilidades de caudales y de escurrimiento pluvial de ocurrencia, se verifica el comportamiento de estas tuberías en el **Anexo VIII**.

3.6.2.1.4. UBICACIÓN DE LAS ALCANTARILLAS

La adecuada ubicación de cada alcantarilla es importante debido a que de esto depende su comportamiento hidráulico, los costos de construcción y mantenimiento, la estabilidad hidráulica de la corriente natural y la seguridad de la carretera.

Para mejorar el sistema de eliminación del agua superficial sobre la franja de camino que vemos a partir del estudio hidrológico, proponemos la siguiente ubicación de alcantarillas.

TABLA N° 29 OBRAS DE DRENAJE FINALES PARA EL TRAMO EN DISEÑO

N°	PROGRESIVA	TIPO DE OBRA	TIPO DE SECCION
1	000+330	Alcantarilla de Alivio	Tubular
2	000+680	Alcantarilla de Alivio	Tubular
3	001+220	Alcantarilla de Alivio	Tubular
4	001+720	Alcantarilla de Alivio	Tubular
5	002+400	Alcantarilla de Alivio	Tubular
6	003+560	Alcantarilla de Alivio	Tubular
7	003+780	Alcantarilla de Alivio	Tubular
8	004+420	Alcantarilla de Alivio	Tubular
9	004+880	Alcantarilla de Alivio	Tubular
10	005+030	Alcantarilla de Alivio	Tubular
11	005+180	Alcantarilla de Alivio	Tubular
12	005+460	Alcantarilla de Alivio	Tubular
13	005+620	Alcantarilla de Alivio	Tubular
14	006+160	Alcantarilla de Alivio	Tubular
15	006+480	Alcantarilla de Alivio	Tubular
16	006+840	Alcantarilla de Alivio	Tubular
17	007+380	Alcantarilla de Alivio	Tubular
18	007+760	Alcantarilla de Alivio	Tubular
19	008+050	Alcantarilla de Alivio	Tubular
20	008+350	Alcantarilla de Alivio	Tubular
21	008+730	Alcantarilla de Alivio	Tubular
22	008+980	Alcantarilla de Alivio	Tubular
23	009+440	Alcantarilla de Alivio	Tubular

Fuente: Elaboración propia.

El diseño correspondiente de las alcantarillas se encuentra en el **Anexo VIII**.

3.6.2.2. CUNETAS

Las cunetas son zanjas paralelas que corren después de las bermas y su función es de recoger las aguas provenientes de la plataforma y los taludes de la carretera y llevarlas en el tiempo más corto fuera de la obra. Su principal objetivo es mantener las pistas de tránsito libres de inundación para la probabilidad de la precipitación de diseño.

El tipo de cunetas que diseñaremos para la carretera en proyecto serán cunetas de sección triangular

Para el cálculo del caudal de diseño de cunetas triangulares para el drenaje de la plataforma la ecuación principal es la ecuación de Manning a continuación descrita:

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

Dónde:

n = Coeficiente de acuerdo al material (revestido o no revestido)

A = Área hidráulica de la cuneta

R = Radio hidráulico

S = Pendiente longitudinal de la cuneta

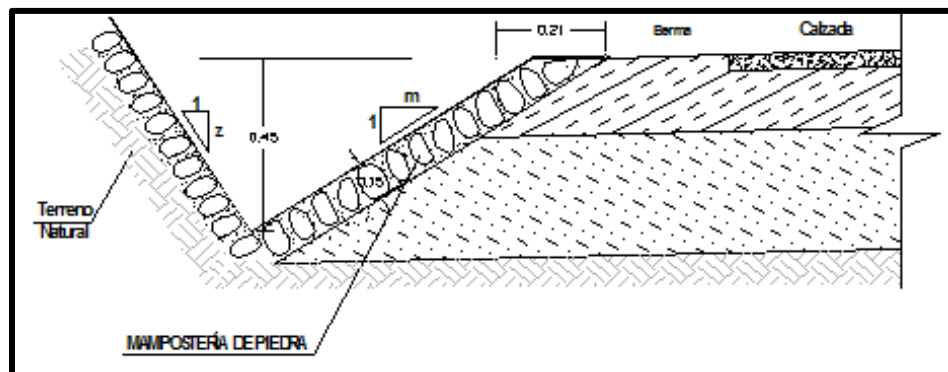
Q = Caudal

Por iteración se determina el área de la cuneta y sus dimensiones. La sección definitiva de la cuneta estará dada en función del área hidráulica, a un borde libre que se debe dar entre 5 y 10 cm. encima del tirante y las condiciones geométricas generales de la sección de la cuneta.

Un factor importante en la longitud de las cunetas es el de evitar la erosión en las mismas, la erosión es un fenómeno irreversible y está relacionado con varios factores como ser:

- La frecuencia y la intensidad de las lluvias.
- Tipo de suelo.
- La pendiente de la cuneta (a mayor pendiente mayor erosión).

FIGURA N° 10 CUNETA LATERAL CON REVESTIMIENTO



En el cuadro siguiente podremos ver la ubicación de las cunetas de acuerdo a la disposición del terreno y el estudio hidrológico.

TABLA N° 30 UBICACIÓN DE CUNETAS

LADO IZQUIERDO				LADO DERECHO			
N°	P. INICIAL	P. FINAL	LONGITUD	N°	P. INICIAL	P. FINAL	LONGITUD
1	000+000	000+140	140.00	1	000+000	000+120	120.00
				2	000+220	000+470	250.00
2	000+315	000+470	155.00				
				3	000+545	000+675	130.00
3	000+560	000+680	120.00				
4	000+750	001+090	340.00				
				4	000+820	001+090	270.00
5	001+120	001+220	100.00				
				5	001+580	001+720	140.00
7	002+180	002+620	440.00				
				6	003+340	003+560	220.00
8	003+500	004+060	560.00				
				7	003+660	003+820	160.00
				8	003+920	004+180	260.00
9	004+200	004+420	220.00				
10	004+660	004+920	260.00				
				9	004+680	004+920	240.00
				10	005+030	005+620	590.00
11	005+560	005+760	200.00				
				11	005+840	005+960	120.00
12	005+960	006+220	260.00				
				12	006+160	006+740	580.00
13	006+620	006+920	300.00				
				13	006+840	007+380	540.00
14	007+160	007+460	300.00				
15	007+580	007+760	180.00				
16	007+900	008+730	830.00				
				14	008+660	008+730	70.00
17	008+980	009+210	230.00	15	008+980	009+210	230.00
18	009+280	009+380	100.00				
				16	009+440	009+560	120.00
SUBTOTAL			4,735.00	SUBTOTAL			4,040.00
TOTAL (m)						8,775.00	

Fuente: Elaboración propia.

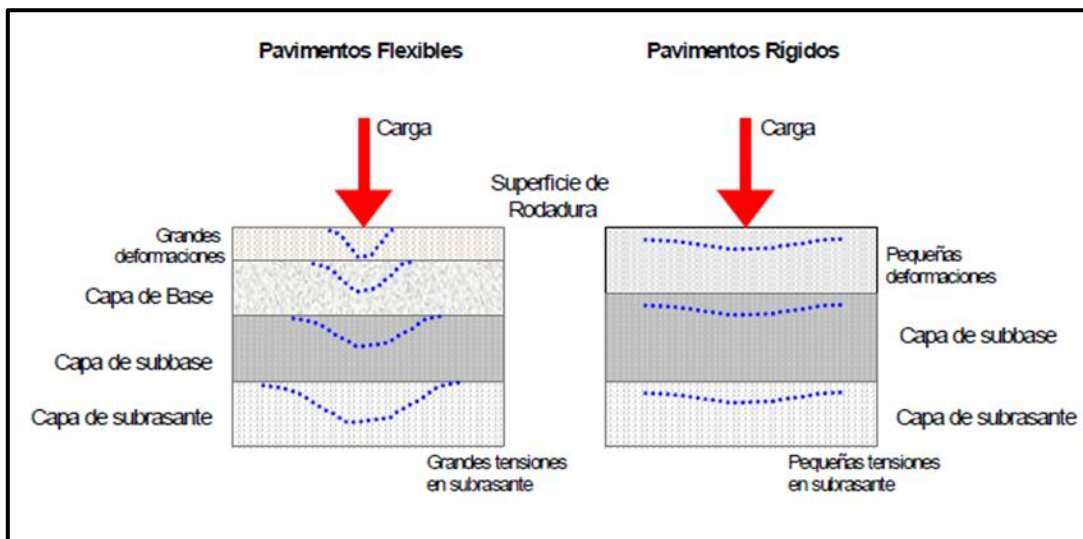
El diseño hidráulico de las cunetas está detallado en el **Anexo VIII**.

CAPÍTULO IV.- DISEÑO ESTRUCTURAL

4.1. TIPOS DE PAVIMENTO

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles las cargas es muy diferente, gráficamente se puede ver en la figura a continuación:

FIGURA N° 11 ESQUEMA DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS



En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

4.2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

4.2.1. POR TIPO DE RODADURA

Se realizará el análisis de diferentes alternativas por el tipo de rodadura que serán:

- Alternativa 1 el diseño de la carpeta estructural para un pavimento flexible.

- Alternativa 2 el diseño de un tratamiento superficial triple.
- Alternativa 3 el diseño de espesor de losa de un pavimento rígido.

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

4.3. PARÁMETROS DE ENTRADA COMUNES PARA EL DISEÑO

Los parámetros de entrada al diseño para el pavimento flexible tanto como para el rígido y el tratamiento superficial son:

- Características geotécnicas de los suelos de la subrasante, que se detallan en el estudio de suelos.
- Tráfico vehicular, el mismo que ha sido definido anteriormente.

4.3.1. SUBRASANTE

La subrasante es la superficie sobre la cual se apoya el pavimento en su conjunto. Su capacidad soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción, constituyen las variables básicas para el diseño del pavimento. El espesor del pavimento depende fundamentalmente de la subrasante por lo que esta debe cumplir con los requisitos de consistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

4.3.1.1. MATERIAL DE LA SUBRASANTE

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

Debido a que actualmente el camino donde se quiere realizar este proyecto se encuentra en una fase de empedrado, este cuenta con un excelente terreno de fundación para la carpeta estructural.

Las características de los suelos de la subrasante del proyecto a diseñarse, están definidas en el estudio de suelos correspondiente, y permiten establecer lo siguiente:

- El 100% de las 13 muestras ensayadas en laboratorio arrojan un valor del CBR mayor al 40%.
- El mínimo valor de CBR de las 13 muestras es de 49.6%.

4.3.1.2. CLASIFICACIÓN DE LA SUBRASANTE

Las categorías propuestas por el INVIAS¹ (1997) se presentan en la tabla 31 que sigue, aclarando que aquellos suelos cuyo CBR sea menor a 2% requieren un tratamiento especial de adecuación que en nuestro caso no será necesario, la categoría de la subrasante refleja la sensibilidad del diseño a la resistencia del suelo.

TABLA N° 31 CATEGORÍAS DE SUBRASANTE

Categoría de subrasante	CBR (%)
S1	2
S2	3 – 5
S3	6 – 10
S4	11 – 20
S5	> 20

Fuente: INVIAS, 1997

En el caso de la subrasante del camino CRUCE RUTA F-11 (Santa Ana La Nueva) – CRUCE RUTA F-1 (La Pintada), es evidente lo siguiente:

- El CBR más bajo de las 13 muestras ensayadas (49.6%) permitiría establecer que estamos en la categoría S5.
- En efecto se adopta, como categoría de la subrasante del camino CRUCE RUTA F-11(Santa Ana La Nueva) – CRUCE RUTA F-1(La Pintada), la S5 (CBR > 20%).

¹ Manual de pavimentos de bajo tráfico INVIAS (1997), Colombia

4.3.2. DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE

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

4.3.2.1. CAPAS GRANULARES

Las capas granulares, específicamente la subbase y la base, son aquellas capas del pavimento que están compuestas sólo por agregados pétreos y finos naturales.

Su resistencia a las deformaciones está determinada casi exclusivamente por un rozamiento interno de los agregados, aunque a veces existe una componente cohesional brindada por los finos plásticos que contenga el material.

4.3.2.1.1. SUBBASE GRANULAR

Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición en los pavimentos flexibles.

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura del pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase.

Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, protegiendo así la estructura del pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares.

El material de subbase deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (CBR) que el de subrasante. Los suelos para la subbase deben ser suelos de tipo granular que llenen los siguientes requisitos:

- El valor soporte debe determinarse según AASHTO T-193 sobre muestra saturada que en este caso es mejor que el CBR no sea menor a 30% a una densidad equivalente de la máxima del ensayo modificado de compactación (AASHTO T-180).

- El material de subbase debe ser tendido en capas no mayores a 20 centímetros de espesor, debe homogeneizarse y conformarse agregándole la cantidad de agua que sea necesaria para lograr la compactación en su totalidad hasta alcanzar la máxima densidad.
- El tamaño de las piedras que contenga el material de subbase no debe ser mayor de 2/3 del espesor de esta y los porcentajes que pasan los tamices N°40 y N°200 deben ser también según AASHTO T-11 y T-27. Los requisitos de granulometría se presentan en la siguiente tabla.

TABLA N° 32 GRANULOMETRÍA PARA SUBBASE GRANULAR

Tamiz	% que pasa
2''	100
1 ½''	80 – 100
¾''	60 -100
1/2''	50 – 100
3/8''	45 – 90
No. 4	35 – 80
No. 10	23 – 65
No. 40	12 – 45
No. 200	5 – 25

Fuente: Guía para el diseño de estructura de pavimentos.

- El equivalente de arena es determinado por AASHTO T-176. Se recomienda que los materiales granulares de subbase cumplan con las siguientes propiedades:

Equivalente de arena > 25.

Desgaste Los Ángeles < 50.

- El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, materia orgánica, terrones de arcilla y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

4.3.2.1.2. BASE GRANULAR

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito a la subbase y a través de ella a la subrasante y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura.

La base granular debe estar conformada por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo en su estado natural.

Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura del pavimento, su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

El material granulométrico de la capa base debe corresponder a los tipos de graduación determinado según AASHTO T-11 y T-27.

El mejor comportamiento se obtiene cuando el material elaborado presenta las siguientes características:

- Índices de aplanamiento y alargamiento < 35 .
- Desgaste < 40 .
- Equivalente de arena > 30 .
- $IP < 6$.
- $CBR \geq 80$ (proctor modificado).
- Producto plástico (% pasa No. 200 * Índice plástico) ≤ 60 .

La granulometría del material, de la cual se muestran las franjas recomendadas por las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (tabla N° 30), debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja escogida, para asegurar la máxima estabilidad mecánica, y deberá permitir el cumplimiento del valor del producto plástico especificado más arriba.

TABLA N° 33 FRANJAS GRANULOMÉTRICAS PARA BASE GRANULAR

Tamiz	% que pasa (BG-1)	% que pasa (BG-2)
1 ½''	100	-
1''	70 – 100	100
¾''	60 – 90	70 – 100
3/8''	45 – 75	50 – 80
No. 4	30 – 60	35 – 65
No. 10	20 – 45	20 – 45
No. 40	10 – 30	10 – 30
No. 200	5 – 15°	5 – 15

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993

Al compactar el material debe ser homogéneo y estar humedecido y mezclado para lograr la densidad especificada. La capa de base ya terminada, debe quedar lo más uniforme posible, para evitar concentración de esfuerzos en la capa de rodadura al estar el pavimento ya dispuesto para la circulación de vehículos.

4.3.2.1.3. CAPA DE RODADURA

Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura del pavimento, impermeabilizando la superficie para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

4.3.2.1.3.1. TIPOS DE SUPERFICIES DE RODADURA

Entre los tipos de superficies o capas de rodadura para pavimentos flexible tenemos dos clases que son:

- Capas Asfálticas; que abarcan mezclas asfálticas en frío, mezclas asfálticas en caliente, riegos asfálticos y sellos asfálticos.

- Bloques de concreto; que son los adoquines y también tienen como capas subyacentes una base, subbase y subrasante.

4.3.2.2. MÉTODOS PARA EL DISEÑO DE ESPESORES

Existen varios métodos para el diseño de espesores en pavimentos flexibles, entre éstos tenemos:

- El método AASHTO.
- El método de CBR.
- El método de índice de Grupo.
- El método del Instituto del asfalto.
- Varios métodos empíricos.

En este proyecto se diseñarán los espesores del paquete estructural con el método AASHTO, haciendo uso de un software de computación (DIPAV 2.1) que nos dará los resultados tanto del SN (Número Estructural) como también es Espesor de la Carpeta Asfáltica, ingresando todas las variables que detallaremos a continuación.

Los detalles de todos los diseños de espesores se encuentran en el **Anexo 9**.

4.3.2.2.1. MÉTODO AASHTO

Para el método de AASHTO la fórmula es:

$$\text{Log}_{10} W_{18} = Z_r S_o + 9.36 \text{Log}_{10} (\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{\frac{0.40 + 1094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10} M_r - 8.07$$

Dónde:

W_{18} = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 Kips. (80 KN) calculadas conforme al tráfico vehicular.

Z_r = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.

S_o = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad.

M_r = Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN = Número estructural.

4.3.3.2. VARIABLES A CONSIDERARSE EN EL MÉTODO AASHTO

4.3.2.2.2. VARIABLES EN FUNCIÓN AL TIEMPO

Existen dos variables que deben tomarse en cuenta y son:

- El Periodo de Diseño.
- La Vida útil del pavimento.

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

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

El periodo de diseño puede llegar a ser igual a la vida útil de un pavimento. Se recomiendan periodos de diseño en la siguiente forma:

TABLA N° 34 PERIODO DE DISEÑO

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO
Autopista Regional	20-40 años
Troncales Sub-Urbanas	15-30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Sub-Urbanas	10-20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993

4.3.2.2.3. VARIABLES EN FUNCIÓN AL TRÁNSITO

Esta variable se refiere al cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips. (80kN) o ESAL`s. La conversión de una carga dada por eje a eje equivalente o ESAL`s se hace a través de los factores equivalentes de carga (LEF`s), que es el valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una carga del tipo de eje de 80KN y la producida por un eje estándar en el mismo eje:

$$LEF = \frac{\text{No. de ESAL`s de 80 kN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{No. De ejes de 80 kN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Como cada tipo de pavimento responde de diferente forma a una carga, los LEFs también cambian en función del tipo de pavimento, además que también cambia en función del índice de serviciabilidad asumido para el diseño.

Entonces para calcular los ESAL`s que se aplicarán a una estructura de pavimento, es necesario asumir en primera instancia para pavimentos flexibles el número estructural que se considere adecuado a las cargas, también se tendrá que asumir el índice de serviciabilidad final aceptable de acuerdo al tipo de carretera.

4.3.2.2.4. CONFIABILIDAD (R)

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

TABLA N° 35 NIVELES DE CONFIABILIDAD

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

Fuente: Guía para Diseño de estructuras AASHTO 1993.

Se asumirá una Confiabilidad $R=80\%$.

4.3.2.2.5. CRITERIOS PARA DETERMINAR LA SERVICIABILIDAD

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

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final; la inicial P_o es función directa de la estructura del pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final o terminal P_t va en función de la categoría del camino y se adopta en base a:

Serviciabilidad Inicial

$P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos.

$P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles.

Serviciabilidad Final

$P_t = 2.5$ o más para caminos principales.

Pt = 2.0 para caminos de tránsito menor.

4.3.2.2.6. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las propiedades de los materiales que son las que se valoran para obtener el módulo de resiliencia, ya que en función de éste se llega a los coeficientes de los números estructurales SN. Estas propiedades son encontradas con los ensayos de suelos realizados.

4.3.2.2.7. DRENAJES

Un buen drenaje mantiene la capacidad soporte de la subrasante (mantiene el módulo de resiliencia cuando la humedad es estable) lo que hace un camino de mejor calidad, así como permite en determinado momento el uso de capas de soporte de menor espesor.

En la tabla a continuación se dan los tiempos de drenaje que recomienda AASHTO:

TABLA N° 36 TIEMPO DE DRENAJE

CALIDAD DE DRENAJE	50% DE SATURACIÓN	85% DE SATURACIÓN
Excelente	2 Horas	2 Horas
Bueno	1 Día	2 a 5 Horas
Regular	1 Semana	5 a 10 Horas
Pobre	1 Mes	10 a 15 Horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mayor de 15 Horas

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993

Éstas recomendaciones se basan en el tiempo que es necesario para que la capa base elimine la humedad cuando ésta tiene un grado de saturación del 50% pero se ha de notar que un grado de saturación del 85% reduce en buena medida el tiempo real necesario para seleccionar la calidad de un drenaje.

La calidad del drenaje es expresado en la fórmula del número estructural, por medio del coeficiente de drenaje (m) que toma en cuenta las capas no ligadas. A continuación tenemos los coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles:

TABLA N° 37 COEFICIENTES DE DRENAJE

CALIDAD DEL DRENAJE	P= % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos 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: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993.

Estos valores son coeficientes de capa que se ajustan a valores mayores o menores a la unidad para tomar en cuenta el drenaje y el tiempo en que las capas granulares están sometidas a niveles de humedad cerca de la saturación.

4.3.2.3. DISEÑO DE ESPESORES

Anteriormente presentamos la fórmula de diseño para pavimentos flexibles y las variables que intervienen en ella; esta fórmula puede resolverse en forma manual o por sistema electrónico.

En los pavimentos de mezclas asfálticas por medio de la fórmula de diseño se obtiene el número estructural SN y en función del mismo se determinan los distintos espesores de las capas que conforman el paquete estructural; el diseño está basado en la identificación del número estructural del pavimento flexible y la cantidad de ejes transitando.

4.3.2.3.1. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO

Las variables para determinar el número estructural de diseño requerido, son las siguientes:

- La cantidad estimada de los ejes equivalentes (ESAL`s) por carril, para el periodo de diseño.
- La confiabilidad R.
- El conjunto total de las desviaciones estándar (S_o), se recomienda usar los valores comprendidos entre los intervalos siguientes:

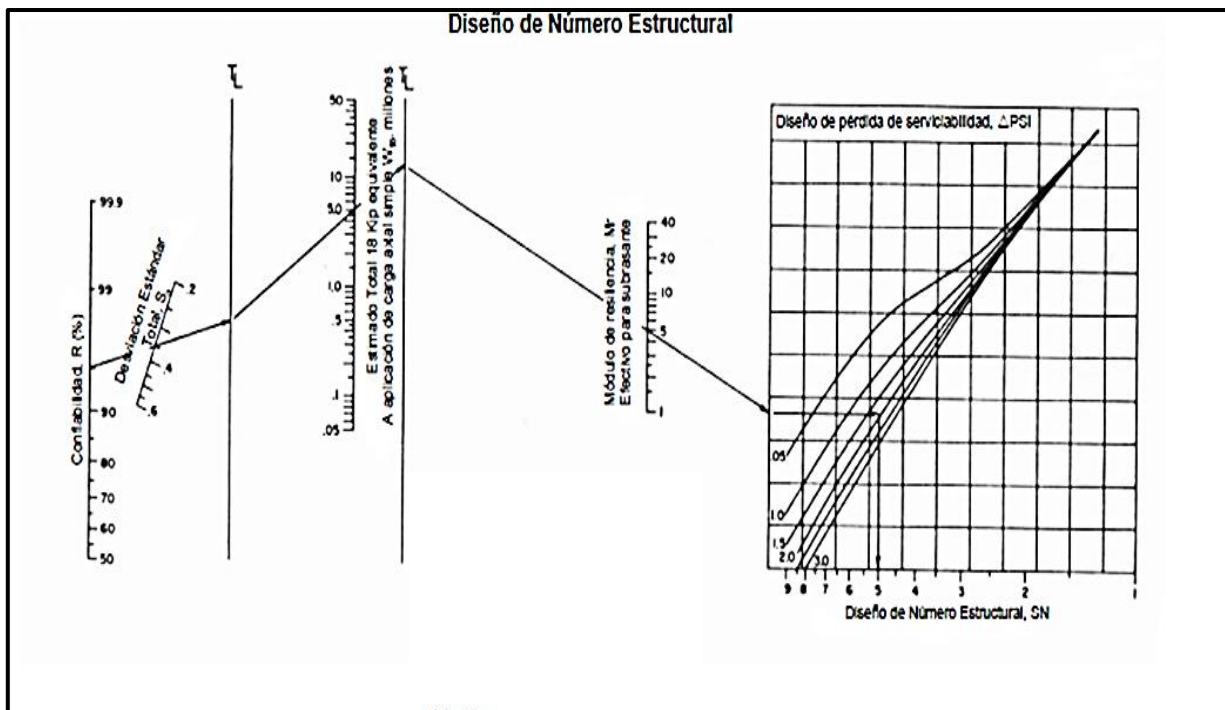
Para pavimentos flexibles 0.40-0.50

En construcción nueva 0.35-0.40

- El módulo de resiliencia efectivo (que tome en cuenta las variaciones a lo largo del año) de la subrasante M_r .
- La pérdida de serviciabilidad $\Delta PSI = P_o - P_t$.

A continuación tenemos la figura del ábaco para determinar el número estructural SN.

FIGURA N° 12 CÁLCULO DE NÚMERO ESTRUCTURAL



4.3.2.3.2. ESPESORES MÍNIMOS EN FUNCIÓN AL TRÁNSITO.-

En el siguiente cuadro se dan valores de los espesores mínimos sugeridos para capas asfálticas y base granular en función del tránsito.

TABLA N° 38 ESPEORES MÍNIMOS SUGERIDOS

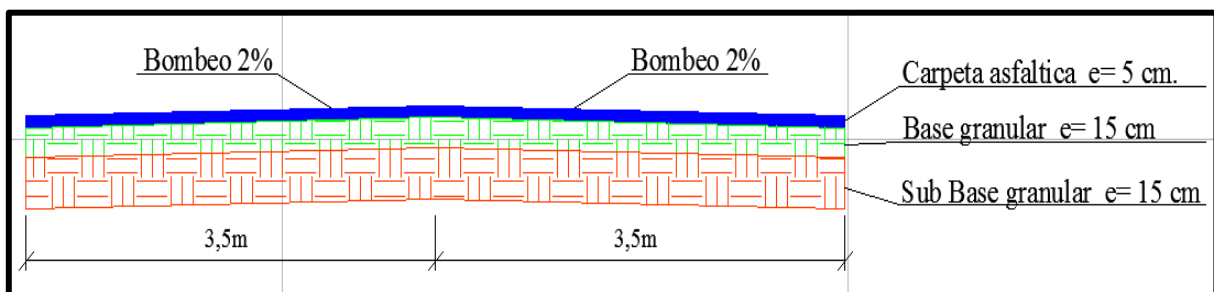
Número de ESAL's	Capas Asfálticas	Base Granular
Menos de 50.000	3.0	10.0
50.000 - 150.000	5.0	10.0
150.000 - 500.000	6.5	10.0
500.000 - 2.000.000	7.5	15.0
2.000.000 - 7.000.000	9.0	15.0
Más de 7.000.000	10.0	15.0

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993.

Se realizó dos diseños de pavimentos flexibles y un tratamiento superficial triple:

- El primero se lo realizó con un espesor mínimo de Capa de Rodadura, una Capa Base y una Capa Sub Base.

FIGURA N° 13 ESPEOR DE CARPETA ESTRUCTURAL DE ATERNATIVA 1

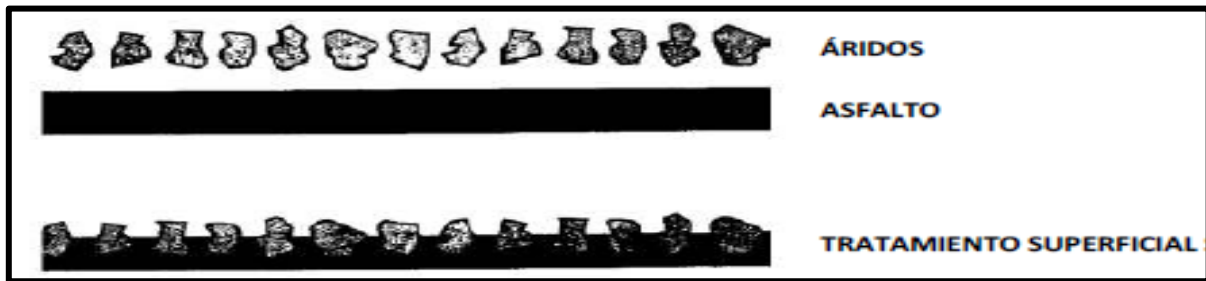


4.3.2.4. TRATAMIENTO SUPERFICIAL

4.3.2.4.1. DEFINICIÓN Y FUNCIONES

Se define un tratamiento superficial como una superficie asfáltica que resulta de una o más aplicaciones sucesivas y alternadas de ligante asfáltico y áridos sobre una base granular o sobre un pavimento existente de asfalto o de hormigón, teniendo por finalidad el mejorar o conservar las características físicas y mecánicas de las superficies así tratadas. De acuerdo al número de aplicaciones de asfalto y áridos, estos reciben el nombre de tratamiento superficial simple, doble, triple o múltiple.

FIGURA N° 14 ESQUEMA DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL



Las principales funciones de los tratamientos superficiales son:

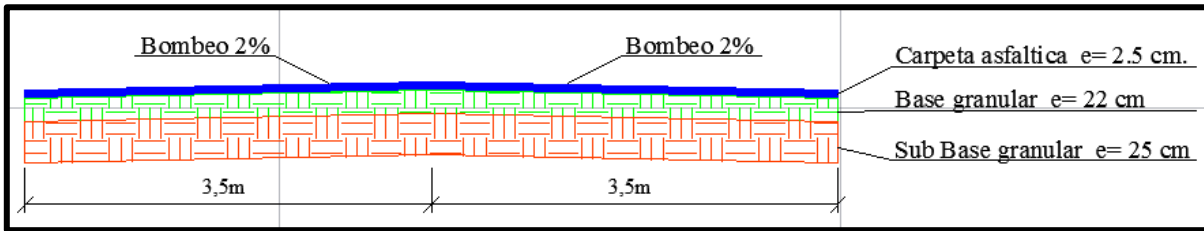
- _ Proteger la superficie de la base estabilizada de la acción erosiva y esfuerzos tangenciales producidos por los neumáticos de los vehículos.
- _ Proteger la estructura del camino de la acción del clima, principalmente de las infiltraciones de agua que podrían comprometer la estabilidad de las capas granulares.
- _ Asegurar un nivel de adherencia mínimo entre neumático y superficie de la calzada.

Su ejecución en forma eficiente permite la obtención de un tratamiento económico, de construcción simple y durable. Aplicados sobre una base granular, su efecto de impermeabilización permite que esta conserve su capacidad de soporte adecuada.

Un tratamiento superficial doble, adecuadamente diseñado y construido, proporciona un considerable incremento en durabilidad y resistencia en comparación con un tratamiento simple, obteniéndose además, una mayor impermeabilidad. La mayor resistencia y durabilidad que proporcionan los tratamientos dobles los hacen especialmente adecuados para condiciones de mayor sollicitación de tránsito, pendientes más pronunciadas y climas más severos.

- El tercero se realizó un Tratamiento Superficial Triple que también cuenta con una Capa Base y una Capa Sub Base.

FIGURA N° 15 ESPESOR DE CARPETA ESTRUCTURAL DE ATERNATIVA 2



4.3.3. DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

El pavimento rígido está integrado por la subrasante y una capa subbase, que fueron explicadas anteriormente y por la capa de rodadura.

4.3.3.1. SUPERFICIE DE RODADURA

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa base.

4.3.3.1.1. MATERIALES

a) Cemento Portland

Los cementos hidráulicos deben ajustarse a las normas AASHTO M-85 para los cementos portland y la norma AASHTO M-240 para los cementos hidráulicos mezclados. El cemento portland debe cumplir con las especificaciones indicadas en el cuadro a continuación:

TABLA N° 39 ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO

AASHTO	REFERENCIA
T-89	Finura del cemento (por turbidímetro)
T-105	Composición química del cemento
T-106	Resistencia a la compresión del mortero del cemento
T-107	Expansión del cemento en autoclave
T-127	Muestreo del cemento
T-131	Tiempo de fraguado (agua de Vicat)
T-137	Contenido de aire de cemento del mortero
T-153	Finura del cemento (permeámetro)
T-154	Tiempo de fraguado (aguja de gilmore)
T-186	Endurecimiento inicial del cemento

Fuente: Manual Centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras.

Además se debe indicar su clase de resistencia en MPa que corresponda a una resistencia mínima de 28 días. Cuando no se especifique el cemento a usar, éstos deberán tener una clase de resistencia de 28 MPa o más.

b) Agregados finos

Debe consistir en arena natural o manufacturada compuesta de partículas duras y durables de acuerdo a AASHTO M-6. Clase B.

c) Agregados gruesos

Debe consistir en gravas o piedras trituradas; trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado de acuerdo a AASHTO M-80.

d) Agua

El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados debe ser perfectamente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al cemento o al acero.

4.3.3.2. MÉTODOS PARA EL DISEÑO DE ESPESORES

Para el diseño de espesores de pavimento rígido existen varios métodos; entre ellos:

- El método AASHTO
- El método de Golbeck
- El método PCA

Para este proyecto se diseñará con el método AASHTO debido a que este método toma en cuenta más parámetros de cálculo para dimensionar a la losa de concreto.

4.3.3.2.1. MÉTODO AASHTO

Para el método AASHTO la fórmula de diseño es:

$$\log_{10} W_{82} = Z_r S_o + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.30 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}}$$

$$+ (4.22 - 0.32Pt) \times \log_{10} \left(\frac{Mr Cdx (0.09D^{0.785} - 1.132)}{1.51 \times J (0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(\frac{E}{K})^{0.25}})} \right)$$

Dónde:

W82 = Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas a lo largo del periodo de diseño.

Zr = Desviación normal estándar.

So = Error estándar combinado con la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D = Espesor de pavimento de concreto, en milímetros.

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t = índice de serviciabilidad o servicio final.

M_r = Resistencia media del concreto en MPa a flexotracción a los 28 días.

C_d = Coeficiente de drenaje.

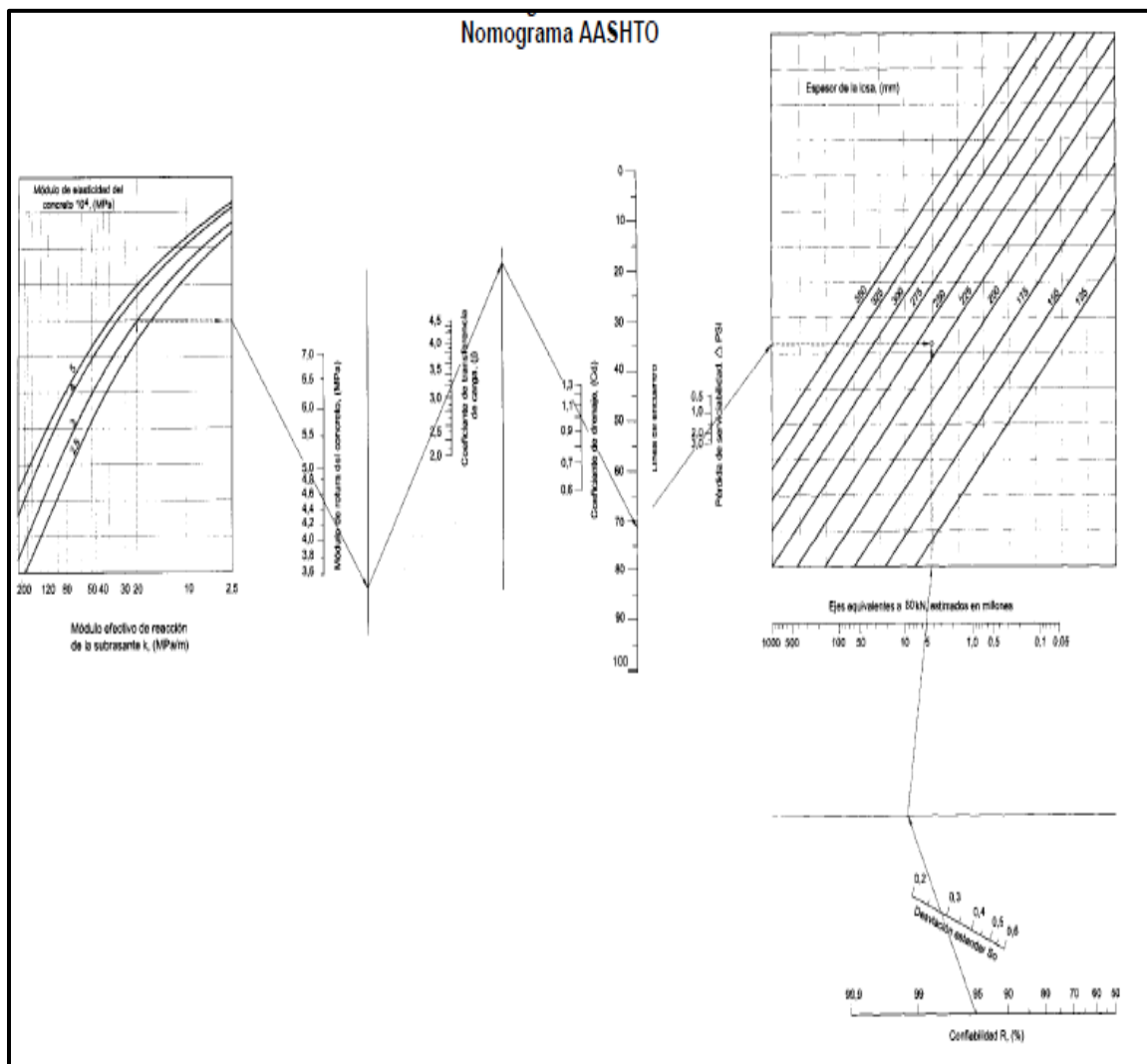
J = Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en MPa.

K = Módulo de reacción, dado en MPa/m de la superficie en la que se apoya el pavimento de concreto.

Para facilitar la utilización de la ecuación se utiliza el siguiente nomograma:

FIGURA N° 16 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA LOSA



4.3.3.2.1.1. VARIABLES A CONSIDERAR EN ESTE MÉTODO

4.3.3.2.1.2. EJES EQUIVALENTES

En este método se requiere la transformación a ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas métricas. Los ejes de diferentes pesos que circularán por el pavimento durante su periodo de diseño. Para el periodo de diseño por el tipo de construcción, no debe ser menor a 20 años. Conforme al número de carriles en ambas direcciones para efectos de diseño, el tránsito que se debe tomar en cuenta es el que utiliza el carril de diseño, por lo que generalmente se admite que en cada dirección circula el 50% del tránsito total (del que viaja en dos direcciones).

4.3.3.2.1.3. DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL

Esta variable define que para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, etc.) que intervienen en un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un periodo de diseño sigue una ley de distribución normal con una medida M_t y una desviación típica S_o y por medio del cuadro siguiente con dicha distribución se obtiene Z_r en función de un nivel de confiabilidad R , de forma que exista una posibilidad de que $1-R/100$ del tránsito realmente soportado sea inferior a $Z_r \times S_o$.

TABLA N° 40 DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL

CONFIABILIDAD R (%)	DESVIACIÓN NORMAL ESTÁNDAR Z_r
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993.

4.3.3.2.1.4. VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD Δ PSI

Como el índice de serviciabilidad final de un pavimento es el valor más bajo de deterioro a que puede llegar el mismo, se sugiere que para carreteras de primer orden (de mayor tránsito) este valor sea de 2.5 y para carreteras menos importantes sea de 2.0 ; para escoger el valor del índice de serviciabilidad inicial (P_o) , es necesario considerar los métodos de construcción, ya que de esto depende la calidad del pavimento, en los ensayos de pavimento AASHTO (P_o) llegó a un valor de 4.5 para pavimentos de concreto y 4.2 para pavimentos de asfalto. La diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y final es Δ PSI.

4.3.3.2.1.5. COEFICIENTE DE DRENAJE

El valor del coeficiente de drenaje está dado por dos variantes que son:

- La calidad del drenaje, que viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento.
- Exposición a la saturación, que es el porcentaje del tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. Este porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, para esto se definen varias clases de drenaje como se ve en el cuadro a continuación.

TABLA N° 41 CALIDAD DE DRENAJE

CALIDAD DE DRENAJE	50% DE SATURACIÓN	85% DE SATURACIÓN
Excelente	2 Horas	2 Horas
Bueno	1 Día	2 a 5 Horas
Regular	1 Semana	5 a 10 Horas
Pobre	1 Mes	10 a 15 Horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mayor de 15 Horas

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993

Combinando todas las variables que intervienen para determinar el coeficiente de drenaje C_d se llega a los valores expuestos anteriormente en la TABLA 41.

4.3.3.2.1.6. COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CARGA (J)

Este factor se utiliza para tomar en cuenta la capacidad del pavimento de concreto de transmitir las cargas a través de los extremos de las losas (juntas o grietas), su valor depende de varios factores, tales como: tipo de pavimento (en masa reforzado en las juntas, de armadura continua, etc.); el tipo de borde u hombro (de asfalto o de concreto unida al pavimento principal). La colocación de elementos de transmisión de carga (pasadores en los pavimentos con juntas, acero en los armados continuos, etc.). En función de estos parámetros, se indica en el siguiente cuadro los valores del coeficiente J.

TABLA N° 42 VALORES DE COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CARGAS (J)

	Hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Concreto Asfáltico		Concreto Hidráulico	
Tipo de pavimento	Si	No	Si	No
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8-4.4	2.5-3.1	3.6-4.2
Reforzado continuo	2.9-3.2	----	2.3-2.9	----

Fuente: Guía para Diseño de estructuras AASHTO 1993.

Se considera un pavimento rígido confinado, cuando los extremos de las losas tiene elementos de la misma rigidez que ella, para el caso un hombro de concreto confina la parte principal de la carretera y el coeficiente de transmisión de carga tiende a ser menor, por lo tanto la losa también será de menor espesor.

Dentro de cada intervalo de variación que se ve en la tabla, es recomendable utilizar el valor más alto cuando menor sea el módulo de reacción de la subrasante K, también cuando sea más elevado el coeficiente de dilatación térmica del concreto y mayores las variaciones de temperatura ambiente.

En casos de carreteras con bajos volúmenes de tránsito, en que el volumen de camiones sea reducido, entonces se pueden utilizar los valores más bajos de J, ya que habrá menos pérdida del efecto de fricción entre los agregados.

4.3.3.2.1.7. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

Otra propiedad de calidad del hormigón requerida para el diseño es el Módulo Elástico Promedio, el mismo que se determina usando los procedimientos descritos en ASTM C-469. El diseño no es muy sensible a esta variable, motivo por el cual su valor puede ser estimado a partir de correlaciones con otros parámetros de resistencia del hormigón, como ser:

$$E_c \text{ (kPa)} = 150,000 [f'c \text{ (kPa)}]^{0.5}$$

$$E_c \text{ (psi)} = 57,000 [f'c \text{ (psi)}]^{0.5}$$

$$E_c \text{ (kPa)} = 1,000,000 [S'c(\text{kPa}) - 3,370] / 43.5$$

$$E_c \text{ (psi)} = 1,000,000 [S'c(\text{psi}) - 488.5] / 43.5$$

Dónde:

E_c = Módulo Elástico promedio del hormigón.

$f'c$ = Resistencia a la compresión

$S'c$ = Módulo de ruptura del hormigón a los 28 días.

Es importante recalcar que estos valores, típicamente situados en un rango entre 21,000 a 35,000 MPa, son simplemente una aproximación para efectos de diseño con un razonable margen de error. El valor promedio obtenido en el AASHTO Road Test fue de 29,000 MPa.

4.3.3.2.1.8. MÓDULO DE REACCIÓN K

El módulo de reacción k de la superficie en la que se apoya el pavimento de concreto o es el valor de la capacidad soporte del suelo, la cual depende del módulo de resiliencia de la subrasante y subbase, así como el módulo de elasticidad de la subbase. Para determinar el módulo de elasticidad de la subbase, es factible la correlación con el uso de otros parámetros como: CBR y valor R . Es recomendable que el módulo de elasticidad de la subbase no sea mayor a 4 veces del valor de la subrasante, ya que el valor del módulo de resiliencia de la subrasante, cambia a lo largo del año debido a los ciclos de enfriamiento y calentamiento, para determinar el valor efectivo del módulo de reacción de la subrasante K , es necesario calcularlo para cada mes del año haciendo el uso de nomogramas y figuras que se encuentran en detalle en el **Anexo IX**.

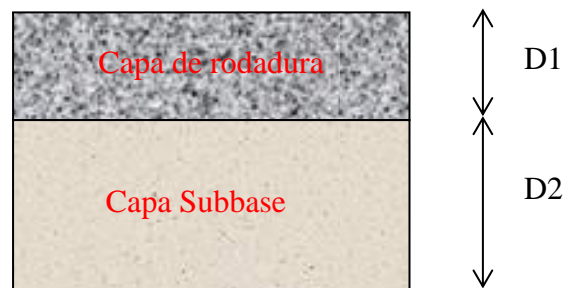
TABLA N° 43 DATOS PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTO RÍGIDO

DATOS	
Módulo de reacción efectiva de la subrasante (k)	135.5 MPa/m
Módulo de elasticidad del concreto (E)	29.000 MPa
Resistencia media del concreto a flexotracción (MR)	4,5 MPa
Error estándar (So)	0,39
Coefficiente de transmisión de carga (J)	2,8
Coefficiente de drenaje (Cd)	1,0
Total de ejes equivalentes (W ₁₈)	9.81*10 ⁵
Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)	2.5

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos todos los datos se los ingresa en el DIPAV 2.1 y el programa procederá al cálculo del espesor de la losa. (Ver ANEXO IX)

FIGURA N° 17 ESPESOR DE PAVIMENTO RÍGIDO ALTERNATIVA 3



D1= 116 mm = 12 cm.

D2= 150 mm = 15 cm.

CAPÍTULO V.- CÓMPUTOS MÉTRICOS Y PRESUPUESTO

5.1 CÓMPUTOS MÉTRICOS

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

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

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

Los cálculos métricos realizados para el proyecto, se detallan en el **Anexo X**.

5.2 PRESUPUESTO

5.2.1 PRECIOS UNITARIOS

El análisis de precios unitarios según las NB-SABS (Normas Básicas del Sistema de Administración de Bienes y Servicios) se realiza llenando el formulario B-2 por actividad o ítem y se encuentran detallados en el **Anexo X**.

5.2.2 PRESUPUESTO GENERAL

Antes de efectuar el presupuesto general final, se realizó un presupuesto de cada alternativa, para así, elegir la mejor alternativa.

TABLA N° 44 PRESUPUESTOS PARA ELECCIÓN DE ALTERNATIVA FINAL

ALTERNATIVA 1

1	PAVIMENTO FLEXIBLE	UNID.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
1	Capa Sub Base (Provisión y Ejecución) (incluye transporte) e= 0.15 m	m ³	12007.80	203.88	2,448,150.26
2	Capa Base (Provisión y Ejecución) (incluye transporte) e= 0.15 m	m ³	12007.80	172.84	2,075,428.15
3	Suministro de asfalto diluido para imprimación	m ²	67710.23	15.51	1,050,185.67
4	Imprimación Bituminosa	Lt	78527.20	19.30	1,515,574.96
5	Tratamiento Superf. Doble (Ejecución P/berma)	m ²	9815.9	0.54	5,300.59
6	Capa de Rodadura (Provisión y Ejecución) (incluye transporte) e= 0.05 m	m ³	3435.57	1,559.60	5,358,107.17
TOTAL					12,452,746.80
Son: Doce Millones Cuatrocientos Cincuenta y Dos Mil Setecientos Cuarenta y Seis con 80/100 Bolivianos					

ALTERNATIVA 2

2	TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE	UNID.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	COSTO (Bs.)
1	Capa Sub Base (Provisión y Ejecución) (incluye transporte) e= 0.25 m	m ³	17511.38	203.88	3,570,219.14
2	Capa Base (Provisión y Ejecución) (incluye transporte) e= 0.22 m	m ³	15410.01	172.84	2,663,466.13
3	Suministro de asfalto diluido para imprimación	Lt	67710.23	15.51	1,050,185.67
4	Imprimación Bituminosa	m ²	78527.20	19.30	1,515,574.96
5	Tratamiento Superf. Simple (Prov. y Ejec.)	m ²	78527.20	0.54	42,404.69
6	Suministro de asfalto diluido para tratamiento superficial simple	Lt	67710.23	15.51	1,050,185.67
7	Tratamiento Superficial Doble (Prov.y Ejec.)	m ²	78527.20	0.54	42,404.69
8	Suministro de asfalto diluido para tratamiento superficial doble	Lt	67710.23	15.51	1,050,185.67
9	Tratamiento Superficial Triple (Prov.y Ejec.)	m ³	78527.20	0.54	42,404.69
10	Capa de Sellado Asfáltico	m ²	78527.20	0.22	17,354.51
TOTAL					11,044,385.80
Son: Once Millones Cuarenta y Cuatro Mil Trecientos Ochenta y Cinco con 80/100 Bolivianos					

ALTERNATIVA 3

3	PAVIMENTO RÍGIDO	UNID.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	COSTO (Bs.)
1	Conformación de Sub Base Clasificada Estabil. Granulométrica	m ³	16010.4	203.88	3,264,200.35
2	Imprimación Bituminosa (Ejecución)	m ²	78527.2	172.84	13,572,641.25
3	Suministro de Asfalto Diluido Para Imprimación	Lt	67710.23	15.51	1,050,185.67
4	Tratamiento Superficial Simple (ejecución)	m ²	9815.9	19.30	189,446.87
5	Suministro de Asfalto Diluido Para Tratam. Superf. Simple (Ejec.)	Lt	9815.9	0.54	5,300.59
6	Hormigón Para Pavimento Con Pavimentadora Deslizante	m ³	8405.46	93.71	787,692.47
7	Acero Para Junta Longitudinal	MI	1962.768	1.14	2,237.56
8	Acero Para Juntas	MI	14001.408	2.46	34,373.46
9	Corte y Sello de Juntas	MI	25234.2	2.69	67,880.00
TOTAL					18,973,958.20
Son: Dieciocho Millones Novecientos Setenta y Tres Mil Novecientos Cincuenta y Ocho con 20/100 Bolivianos					

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1. ALTERNATIVA ELEGIDA

Ventajas del pavimento flexible sobre un tratamiento superficial.

- Tiene un periodo de vida útil mayor.
- Mayor soporte estructural a la acción de cargas impuestas por tránsito.
- Requiere menos mantenimiento.
- Requiere menores espesores tanto de capa base como de capa sub base.

Desventajas del pavimento flexible sobre un tratamiento superficial.

- Tiene un mayor costo de ejecución.

Si la elección de la alternativa a diseñarse está solo en función a aspectos económicos se podría elegir como alternativa final el Tratamiento Superficial Triple, pero considerando que dicha elección no solo debe estar basada por aspectos económicos, sino también, se debe tomar muy en cuenta los aspectos técnicos.

Tomando en cuenta las ventajas que nos brinda un pavimento flexible ante un tratamiento superficial, se elige al pavimento flexible (ALTERNATIVA 1), como la mejor alternativa a diseñarse.

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Es resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Presenta una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de la circulación de los vehículos, por cuánto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.

- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

5.2.3. PRESUPUESTO GENERAL DE ALTERNATIVA ELEGIDA

El presupuesto general para el asfaltado de CRUCE RUTA F-11 (SANTA ANA LA NUEVA) – CRUCE RUTA F-1 (LA PINTADA), está detallado a continuación.

TABLA N° 45 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN DETALLADA					
N°	Descripción	Und.	Cantidad	Precio Unitario Bs.	Precio Parcial Bs.
I	M01 - Movilización				113,474.70
1	Movilización y Desmovilización	Glb.	1.00	15,435.17	15,435.17
2	Instalación de Faenas	Glb.	1.00	68,629.91	68,629.91
3	Replanteo de Camino	Km	9.56	3,076.32	29,409.61
II	M02 - Movimiento de Tierra Y Paquete estructural				19,729,544.45
4	Excavación común dm=0.30m	m³	58,367.61	32.45	1,894,028.94
5	Conformación de terraplén	m³	27,490.64	12.01	330,162.59
6	Capa Sub Base (Provisión y Ejecución) (incluye transporte) e= 0.15 cm	m³	10,006.50	203.88	2,040,125.22
7	Capa Base (Provisión y Ejecución) (incluye transporte) e= 0.15 cm	m³	10,006.50	172.84	1,729,523.46
8	Suministro de asfalto diluido para imprimación	lt	10,006.50	15.51	155,200.82
9	Imprimación Bituminosa	m²	10,006.50	19.30	193,125.45
10	Tratamiento Superf. Doble (Ejecución P/berma)	m²	9,530.00	0.57	5,432.10
11	Capa de Rodadura (Provisión y Ejecución) (incluye transporte) e= 0.05 cm	m³	10,006.50	1,559.60	15,606,137.40
IV	M04 - Drenaje				2,576,111.04
12	Excavación comun para colocación de alcantarillas	m³	82.50	23.97	1,977.53
13	Hormigón ciclópeo 1:2:3 50 % PD (muros de cabezal)	m³	3.67	1,454.69	5,338.71
14	Prov. Y Col. De tubos metálicos D= 800 mm.	ml	25.00	1,256.96	31,424.00
15	Cama de arena para tubos	m³	110.00	186.39	20,502.90
16	Cuneta lateral con revestimiento de Hormigon Simple	m	8,775.00	284.78	2,498,944.50
17	Relleno y Compact. p/ Obras de Drenaje Menor	m³	110.00	162.94	17,923.40
VI	M06 - Obras Complementarias				172,291.57
18	Prov. Y Col. De letrero de obras	Pza	2.00	1,518.14	3,036.28
17	Señal Preventiva romboidal 0.75 x 0.75	Pza	7.00	857.14	6,000.00
18	Señal restrictiva cuadrangular 0.60 x 0.90	Pza	5.00	857.14	4,285.72
19	Señal restrictiva octogonal 0,6 m	Pza	1.00	857.14	857.14
20	Señal Informat. direccional rectang. 1.50 x 0.55	Pza	2.00	857.14	1,714.29
21	Señaliz. Horiz. Fajas de Tráfico Blanco e= 0.10 m	ml	6,360.00	10.88	69,212.39
22	Señaliz. Horiz. Fajas de Tráf. Amarillo e= 0.10 m	ml	2,385.00	10.88	25,954.65
23	Tachas reflect. bidireccionales al eje de la calzada	Pza	790.00	35.19	27,800.33
24	Tachas reflect. bidireccionales al borde de la calzada	Pza	950.00	35.19	33,430.77
	Total presupuesto:				22,591,421.75
Son: Veinti y Dos Millones Quinientos Noventa y Un Mil Cuatrocientos Veinti y Uno con 75/100 Bolivianos					

TABLA N° 46 PRESUPUESTO INVERSION POR MUDULOS EN BOLIVIANOS

N°	Descripción	Precio Parcial Bs.
I	M01 - Movilización	113,474.70
II	M02 - Movimiento de Tierra Y Paquete estructural	19,729,544.45
IV	M04 - Drenaje	2,576,111.04
VI	M06 - Obras Complementarias	172,291.57
	Total presupuesto:	22,591,421.75

Son: Veinti y Dos Millones Quinientos Noventa y Un Mil Cuatrocientos Veinti y Uno con 75/100 Bolivianos

Fuente: Elaboración propia.

Tanto cálculos métricos como precios unitarios se encuentran detallados en Anexo X.

5.3 ESPECIFICACIONES TECNICAS

Las especificaciones técnicas se detallan en el **Anexo X**.

CAPÍTULO VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Realizados los análisis de todos los componentes de un Estudio a Diseño Final de Ingeniería, se ha elaborado el siguiente acápite, con la finalidad de emitir algunas conclusiones relativas al Proyecto.

Las más importantes se señalan a continuación:

- © El aforo de vehículos que se realizó durante dos semanas, permite establecer que el tráfico normal es de 79 veh./día y el tráfico futuro es de 239 veh./día proyectado con una vida útil de 20 años.
- © Del estudio de suelos que se realizó a lo largo del tramo se obtuvo 13 muestras para su clasificación, dando como resultado suelos de tipo A-1-a, A-1-b y A-2-4; y con un valor mínimo de C.B.R. de 49%, esto nos demuestra que el suelo es de buena calidad para la fundación de la carpeta estructural.
- © Se realizó el diseño hidráulico tanto de cunetas como de alcantarillas de alivio para establecer sus dimensiones y diámetros necesarios para así proporcionar un sistema de drenaje acorde al diseño geométrico.
- © Se realizó el diseño de un Pavimento Flexible, un Pavimento Rígido y un Tratamiento Superficial Triple como alternativas, siendo elegido el Pavimento Flexible como alternativa final de diseño, porque tiene mayor capacidad de soporte y una vida útil más larga en comparación al tratamiento superficial.
- © Luego de realizado los cálculos métricos, análisis de precios unitarios, se efectuó el presupuesto general para el diseño del pavimento flexible, teniendo un costo de 22,591,421.75 de bolivianos.

6.2. RECOMENDACIONES

- ® Se debe socializar a los habitantes del sector sobre la importancia de la ejecución del proyecto.
- ® Se recomienda un mayor cuidado en ejecución del ensayo de C.B.R. puesto que el valor que se obtiene asume mucha incidencia en el cálculo del diseño estructural.
- ® Así también para el aforo de vehículos se recomienda un periodo de aforo mayor al efectuado¹, para obtener datos más confiables y así realizar el diseño estructural más eficiente.
- ® En el diseño geométrico se recomienda en lo posible realizar un alineamiento con la menor cantidad de tramos curvos para brindar mayor eficiencia y seguridad al conductor, y tratar de que haya la mínima cantidad de movimiento de tierras ya dicho parámetro es uno de los de mayor incidencia en el costo de la obra.
- ® El diseño estructural se lo hizo mediante el software DIPAV 2.1, al usar este software de computación, se recomienda ingresar los datos requeridos (desviación estándar, confiabilidad, pérdida de serviciabilidad, etc.) siguiendo parámetros o rangos ya establecidos por el método AASHTO.
- ® Al ser una zona con fuerte potencial turístico, se recomienda viabilizar la ejecución del proyecto dando la posibilidad de generar nuevas fuentes de ingreso y empleos directos e indirectos para la población.

¹ Se efectuó un periodo de aforo de 10 días.